

Buku ini berisi tentang *frame work* mitigasi bencana banjir dan kebakaran di daerah aliran sungai (DAS) Siak, Provinsi Riau secara sistematis. Mitigasi banjir diawali dengan tinjauan perubahan tataguna lahan, investigasi berbagai koefisien infiltrasi yang terjadi di tanah mineral dan gambut serta membuat model hidrologi DAS dengan penggunaan parameter-parameter cuaca, dan kondisi sungai memakai aplikasi *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*. Selanjutnya dirumuskan rekomendasi mitigasi bencana banjir di DAS ini, terutama di ibu kota Provinsi Riau, kota Pekanbaru. Sedangkan dalam pengembangan framework mitigasi kebakaran lahan gambut dibagi atas 3 langkah utama; (i) memahami lebih dalam tentang apa itu kebakaran gambut, (ii) penilaian cepat (*rapid assessment*), (iii) mengembangkan *early warning*, dan (iv) tanggap darurat (*quick responds*). Dari hasil analisa tren kebakaran 2013-2015 di Provinsi Riau, terutama di area penelitian di Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, terjadi penurunan kejadian kebakaran secara signifikan.



Dr. Ir. Ari Sandhyavitri, MSc, adalah staf dosen pada Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, selain itu beliau juga adalah senior member dari the Universal Association of Civil, Structural and Environmental (UACSE)-USA, beliau juga anggota dari Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK), Indonesia sebagai Ahli Perencana Sumber Daya Air, Transportasi, dan Ahli Lingkungan.

Email ari.sandhyavitri@lecturer.unri.ac.id, atau arisandhyavitri@gmail.com. Tempat/tanggal lahir, Rengat 27-01-1968. *Research interest*: Mitigasi bencana, system pengambilan keputusan, system penyediaan air bersih, dan keselamatan transportasi serta disain lapangan terbang.

Penerbit
Universitas Riau Press



Ari Sandhyavitri, dkk

MITIGASI

BENCANA BANJIR DAN KEBAKARAN

MITIGASI BENCANA BANJIR DAN KEBAKARAN

ARI SANDHYAVITRI, dkk



MITIGASI

Bencana Banjir dan Kebakaran

Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002, tentang Hak Cipta

PASAL 2

- (1) Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut perundang-undangan yang berlaku.

PASAL 72

- (1) Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000.00 (Satu Juta Rupiah), atau paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (Lima Miliar Rupiah).
- (2) Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000.00 (lima ratus juta rupiah).

MITIGASI

Bencana Banjir dan Kebakaran

Dr. Ari Sandhyavitri
Dr. Manyuk Fauzi
Dr. Haris Gunawan
Dr. Eng. Sigit Sutikno
Dr. Fajar Restuhadi
Rahayul Amri, ST, MT
Ir. Siswanto, MT
Ir. Ibrahim Suryawan
Mitra Adhi Mukti, ST, MMSI
Ir. Subkhan Riza

EDITOR
Dr. Ari Sandhyavitri

Penerbit
UR Press Pekanbaru
2015

MITIGASI

Bencana Banjir dan Kebakaran

Penulis:

Dr. Ari Sandhyavitri

Dr. Manyuk Fauzi

Dr. Haris Gunawan

Dr. Eng. Sigit Sutikno

Dr. Fajar Restuhadi

Rahayul Amri, ST, MT

Ir. Siswanto, MT

Ir. Ibrahim Suryawan

Mitra Adhi Mukti, ST, MMSI

Ir. Subkhan Riza

EDITOR

Dr. Ari Sandhyavitri

Sampul & Tata Letak : Ari Sandhyavitri

Diterbitkan oleh UR Press, Desember 2015

Alamat Penerbit:

Badan Penerbit Universitas Riau

UR Press Jl. Pattimura No. 9, Gobah Pekanbaru 28132,

Riau, Indonesia

Telp. (0761) 22961, Fax. (0761) 857397

e-mail: unri_press@yahoo.co.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak

sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : Desember 2015

ISBN 978-979-792-656-4

KATA SAMBUTAN

Ketua LPPMP Universitas Riau, Pekanbaru, Provinsi Riau

Prof. Dr. Usman, M. Tang, MS

Bencana banjir dan kebakaran lahan silih berganti, ketika musim hujan sudah bisa dipastikan banjir akan terjadi, demikian juga ketika berakhir musim hujan datang musim kemarau tak bisa dipungkiri, pasti kebakaran lahan akan terjadi. Pada dan kejadian tersebut di Provinsi Riau terjadi berulang selama 18 tahun terakhir.

Sebagai Akademisi Dr. Ari Sandhyavitri dan timnya mencoba menawarkan pemikiran yang dituangkan dalam buku dengan tema “Penyusunan *Framework* Mitigasi Bencana Banjir dan Kebakaran” yang sistematis. *Framework* ini dalam implementasinya melibatkan berbagai “*stakeholders*”. Karena disadari sepenuhnya bahwa bencana banjir dan kebakaran disebabkan oleh berbagai pihak, sehingga strategi mitigasinya pun semestinya melibatkan berbagai pihak juga.

Buku ini menawarkan cara pandang yang komprehensif dan detail tentang “apa yang perlu dilakukan” dan “siapa berbuat apa” dengan harapan bencana banjir dan kebakaran berangsur dapat diminimalkan bahkan dihentikan dalam waktu yang tidak terlalu lama.

Pekanbaru, bulan Desember 2015

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Buku Mitigasi Bencana Banjir dan Kebakaran ini dapat diselesaikan.

Pada bahasan Mitigasi Bencana Banjir berisikan tentang investigasi berbagai koefisien infiltrasi yang terjadi di tanah mineral dan gambut pada area di Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak, memetakan perubahan tataguna lahan dan membangun model hidrologi DAS dengan penggunaan parameter-parameter cuaca, dan kondisi sungai memakai aplikasi Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dan selanjutnya dirumuskan rekomendasi *frame work* mitigasi bencana banjir di DAS ini, terutama di kota Pekanbaru, Provinsi Riau.

Dalam upaya mitigasi kebakaran lahan gambut diperlukan *frame work* mitigasi kebakaran lahan yang dibagi atas 3 langkah utama; (i) memahami lebih dalam tentang apa itu kebakaran gambut, (ii) penilaian cepat (*rapid assessment*), (iii) mengembangkan *early warning*, dan (iv) tanggap darurat (*quick responds*).

Untuk perbaikan kearah penyempurnaan pada masa yang akan datang terkait dengan materi dalam buku ini, kami sangat mengharapkan saran dan kritik dari kita semua. Kepada semua anggota tim penyusun buku ini yang telah bekerja keras menuangkan ide dan pemikiran, serta berbagai pihak yang telah membantu pembuatan buku ini kami haturkan banyak terimakasih dan semoga segala upaya yang diberikan menjadi amal saleh. Harapan kami semoga apa yang kami sajikan dalam buku ini bermanfaat bagi para pembaca.

Pekanbaru, Akhir tahun 2015

Penulis

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami haturkan kepada Balitbang Provinsi Riau, Lembaga Penelitian Universitas Riau dan Hibah Kompetensi DIKTI, atas dukungan yang diberikan baik moril maupun materil. Terimakasih juga kami ucapkan kepada Rizki Ramadhani, Dewi Herlina, dan Juk Henri, yang telah menginterpestatasikan citra satelit menjadi peta tutupan lahan, Iqbal dan Rian untuk simulasi SWAT, Wikrin Teriyoko dan Fatiha Nadiya yang telah menggambarkan situasi banjir di DAS Siak, serta bapak Agus Kristijono dan bapak Nana dari BPPT yang telah menyediakan alat *weather station* di Lokasi Bukit Batu, Bengkalis. Serta penghargaan yang tak terhingga kami haturkan kepada dosen dan mahasiswa Fakultas Teknik Sipil yang telah membantu secara teknis dalam penyusunan format dan *lay-out* buku ini.

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN KETUA LPPMP UNIVERSITAS RIAU	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. PENGANTAR	1
1.2. APA MASALAHNYA	7
1.3. APA YANG PERLU DIKAJI.....	8
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Mitigasi Bencana.....	11
2.2. Banjir	12
2.3. Konsep Hidrologi.....	14
2.4. Limpasan (Run Off)	16
2.5. Daerah Aliran Sungai.....	17
2.6. Debit aliran sungai	17
2.7. Komponen Sistem.....	18
2.8. Infiltrasi	20
2.8.1 Proses Terjadinya Infiltrasi	22
2.8.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi.....	24
2.9. Konsep Neraca Air Model Konseptual	26
2.10. Over drained.....	26
2.11. Pengolahan Data Citra Satelit	27
2.11.1 Kalibrasi Radiometrik	28
2.11.2 Kalibrasi Geometrik.....	28
2.11.3 Klasifikasi Multispektral (Image Classification)	29
2.11.4 Indeks Vegetasi	29
2.12. Model Hidrologi.....	29
2.12.1 Model Hidrologi SWAT	30
2.12.2 Runoff	33
2.12.3 Evapotranspirasi.....	34
2.12.4 Perkolasi.....	36
2.12.5 GroundWater	36
2.12.6 Kalibrasi model	37
2.12.7 Validasi model.....	37
2.12.8 Prinsip-Prinsip Dasar Sistem Drainase Perkotaan	
2.13. Tingkat Bahaya Kebakaran (Fire Danger Rating System, FDRS) untuk Asia Tenggara.....	39

2.14. Indeks Api Cuaca (Fire Weather Index , FWI)	47
2.14.2 ISI (Initial Spread Index).....	53
2.15.BUI (Buildup Index).....	53

BAB III METODOLOG

3.1. Lokasi Tinjauan Penelitian Hidrologi DAS.....	55
3.2 Teknik pengumpulan data.....	58
3.2.1 Laju Infiltrasi	59
a.Lapisan Tanah	60
b.Tipe Tanah.....	63
c.Pengolahan tanah	65
d.Penggunaan Lahan.....	67
3.2.2. Tindakan Untuk Mempertahankan Laju Infiltrasi Tetap Tinggi	69
3.3 Pengembangan Peta Citra Satelit Untuk Mengidentifikasi Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Siak Siak 2002-2012 ...	71
3.3.1 Pengolahan citra satelit	74
3.3.2 Koreksi Geometrik	76
3.3.3 Koreksi Radiometrik.....	76
3.4. Simulasi Model Hidrologi DAS Siak dengan Aplikasi SWAT ..	77
3.4.1 Pemodelan Hidrologi	78
a. Software SWAT	78
3.4.2 Data yang Dibutuhkan dan Metode Analisis Data	80
3.4.3 Tahapan Pemodelan	82
3.4.4 Konservasi Air dan Tanah	85
a.Neraca Air dan Kedalaman Muka Air Tanah.....	85
3.5 Pemetaan Area Rawan Banjir Di Pekanbaru	86
3.5.1 Analisis Parameter Daerah Rawan Banjir	86
a. Parameter bentuk lahan	86
b.Parameter lereng kanan – kirisungai	87
c.Parameter pembendungan oleh percabangan sungai	87
d.Parameter meandering/sinuousitas sungai.....	88
e.Parameter bangunan air.....	88
3.5.2 Analisis Parameter Potensi Pasokan Air Banjir Genangan .	89
a.Parameter curah hujan	89
b.Parameter bentuk Daerah Aliran Sungai (DAS)	89
c.Parameter Kerapatan Drainase.....	89
d.Parameter Kemiringan lereng DAS	90
e.Parameter penggunaan lahan	90

3.5.3. Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Genangan.....	90
3.5.4. Mitigasi Area Banjir Melalui Pembangunan Tangkapan Air di Kota Pekanbaru.....	93
3.5.5. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak.....	93
3.5.5.1Teknik Analisis Data	100
E.1 Daerah Aliran Sungai	104
E.2 Morfometetri Daerah Aliran Sungai	104
E.3Bagian-bagian Morfometri DAS.....	105
E.3.1 Luas, Panjang dan Lebar	105
E.3.2 Bentuk DAS	105
E.3.3 Orde dan tingkat percabangan sungai.....	107
E.3.4 Kerapatan Sungai.....	108
E.3.5 Kemiringan Sungai	110
E. 4 Hidrograf Satuan.....	110
E.4.1Analisis Keandalan Hidrograf.....	111
E.4.2 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I	111
E.5 Sistem Informasi Geografis (SIG)	113
3.6 Mitigasi Kebakaran Lahan Melalui Metode FDRS	116
3.6.1. Metodologi Kerja.....	125
3.6.2. Cara Kerja Alat	127

BAB IV MITIGASI BENCANA

4.1. Infiltrasi	129
4.2 Identifikasi Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Siak Siak 2002-2012 Berdasarkan Interpretasi Citra Satelit.....	162
4.3. Simulasi Model Hidrologi DAS Siak dengan Aplikasi SWAT ..	167
4.3.1. Analisa Data Klimatologi.....	167
4.3.2.Data Curah Hujan	168
4.3.3. Data Suhu	169
4.3.4. Uji Konsistensi Data	173
4.3.5.Data Hujan.....	173
4.3.6.Uji Konsistensi Data Hujan.....	173
4.3.7.Perubahan Tata Guna Lahan SubDAS Tapung.....	175
4.3.8. Pemodelan Hidrologi Menggunakan SWAT	177
4.3.9.Analisis Ketersediaan Air Tanah.....	193
4.3.10. Ketersediaan Air Pada Aliran Das Siak	195
4.4 Pemetaan Area Rawan Banjir Di Pekanbaru	197
4.4.1 Analisis debit banjir menggunakan metode HSS Gama I...	210
4.4.2.Analisis debit banjir menggunakan metode Nakayasu.....	211
4.4.3 Perbandingan Metode HSS Gama I dengan Nakayasu.....	212
4.4.4Validasi jaringan sungai dengan lokasi di Lapangan	214

4.4.5. Usulan Upaya Mitigasi Banjir di Perkotaan di DAS Siak	218
4.5 Kerangka Fikir atau Kerangka Kerja (Frame Work) Mitigasi Kebakaran Lahan Gambut.....	223
4.5.1. Memahami Kebakaran Gambut	223
a.Karakteristik	223
b.Tipe	224
c.Proses Kebakaran Tanah Gambut	225
4.5.2.Penilaian Cepat (Rapid Assessment) berdasarkan kondisi eksisting di lapangan.....	226
a. Titik Api di Provinsi Riau, 2006-2013	226
b. Titik Api di Provinsi Riau, 2013-2015	228
c. Titik Api Berdasarkan Kabupaten (Districts) di Provinsi Riau,2015	229
d. Titik Api di Provinsi Riau, 2015.....	230
e. Perubahan Tataruang dan tatagunalahan.....	230
f. Sistem Jaringan Tata Air	231
4.5.3. Peringatan dini (early warning) berdasarkan kondisi eksisting di lapangan	232
4.5.4. Tanggap Darurat (Rapid Responds)	239
C1. Perencanaan dan disain	252
C2. Pembangunan prasarana keairan.....	254
C3. Pemulihan lahan rawa bergambut	254
BAB V PENUTUP	
Kesimpulan	257
Rekomendasi	261
DAFTAR PUSTAKA	263

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Penyebaran kabut asap dari Sumatera telah mencapai benua Afrika	3
Gambar 1.2.	Fluktuasi titik api di Provinsi Riau, 2013-2015	4
Gambar 1.3.	Kelas kerawanan kebakaran berdasarkan jumlah sebaran hotspot	4
Gambar 1.4.	Daerah Rawan Banjir di WS Siak	5
Gambar 1.5.	fluktuasi selisih debit air sungai Siak maksimum (Qmak) dengan minimum (Qmin) selama 22 tahun (1990-2012).	6
Gambar 1.6.	Perkembangan luas perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau 1996-2012.....	8
Gambar 2.1	Siklus Hidrologi (Hydrologic Cycle)	15
Gambar 2.2	Ilustrasi proses terbentuknya aliran sungai...	16
Gambar 2.3	Skema siklus hidrologi	18
Gambar 2.4	Prosentase Laju Infiltrasi dan Run off Pada Kawasan Permukiman	20
Gambar 2.5	Skema Infiltrasi dan Perkolasi Pada Dua Lapisan Tanah (Sri Harto, 1993)	21
Gambar 2.6	Hubungan Antara Infiltrasi Dengan Aliran Permukaan Dan Curah Hujan	21
Gambar 2.7	Faktor-faktor yang mempengaruhi pergerakan air ke dalam tanah.....	25
Gambar 2.8	Ilustrasi proses emisi CO2 dari lahan gambut yang didrainase (Hooijer, 2006 II-.....	27
Gambar 2.9	Skema analisis hidrologi menggunakan SWAT	31
Gambar 2.10	Komponen-komponen dan data input/output untuk pemodelan menggunakan SWAT	32
Gambar 2.11	Hubungan antara runoff terhadap curah hujan pada metode SCS curve number(SCS 1972)..	34
Gambar 2.12	Lay out umum Sistem Drainase Perkotaan....	42
Gambar 2.13	Skematik Lay out Drainase Minor dan Mayor Drainase Perkotaan	42
Gambar 2.14	Strategi Penggunaan system FDRS	45
Gambar 2.15	Indek FDRS	46
Gambar 2.16	Peta tingkat rawan kebakaran di Indonesia dengan menggunakan FDRS, Sumber: quoted from Agus Kristijono presentation, 2014	47
Gambar 2.17	Skema Fire Weather Index (FWI).....	49

Gambar 2.18	Kurva Penyulutan Api Kelas Fine Fuel Moisture Code (FFMC).....	50
Gambar 2.19	Fine Fuel di lahan gambut lokasi desa Tanjung Leban Kec. Bukit Batu.....	51
Gambar 2.20	Kurva Peringkat Kelembaban Duff Moisture Code (DMC)	51
Gambar 2.21	Lapisan Humus Sedang (Materi berkayu) lokasi desa Tanjung Leban Kec. Bukit Batu. Sumber : Survey Lapangan 04 Maret 2015.....	52
Gambar 2.22	Kurva Peringkat Penyebaran Api ISI.....	53
Gambar 2.23	Kurva Tingkat Bahan Bahan Bakar yang Akan Dikonsumsi BUI	54
Gambar 3.1.	Peta Administrasi WS Siak.....	56
Gambar 3.2	Pengukuran Infiltrasi	60
Gambar 3.3.	Pengaruh Lapisan Tanah terhadap Laju Infiltrasi	61
Gambar 3.4.	Pengaruh lapisan kerak terhadap laju infiltrasi	63
Gambar 3.5.	Laju infiltrasi pada beragam tipe tanah (Sumber: Withers & Vipond 1974 dalam Morgan 1986)	65
Gambar 3.6.	Laju infiltrasi untuk tanah debu berlempung Port Byron 2 bulan setelah pengolahan dengan chisel dan moldboard (Sumber: Rawls et al 1993)..	66
Gambar 3.7.	Laju infiltrasi rata-rata untuk beragam perlakuan padang penggembalaan di Fort Stanton, New Mexico (Sumber: Rawls et al 1993).....	68
Gambar 3.8.	Kurva infiltrasi beberapa jenis penggunaan tanah (Sumber: Schwab et al 1966)	69
Gambar 3.9.	Siklus Hidrologi.....	77
Gambar 3.10.	Skema Analisis Hidrologi Menggunakan SWAT	79
Gambar 3.11.	Komponen-komponen dan data input/output untuk pemodelan menggunakan SWAT	80
Gambar 3.12.	Kerangka logika kinerja pengelolaan DAS	97
Gambar 3.13.	Bentuk Hidrograf Daerah Aliran Sungai (Strahler, 1957)	106
Gambar 3.14.	Penentuan orde sungai dengan metode Strahler 1957	107
Gambar 3.15.	Sistem Hidrograf Satuan.....	111
Gambar 3.16.	Sketsa penerapan WF.....	112
Gambar 3.17.	Sketsa Penerapan RUA	117
Gambar 3.18.	Peta Pulau Sumatra, Provinsi Riau dan Kecamatan Bukit Batu	118

Gambar 3.19.	Peta Geologi dan Batuan Kecamatan Bukit Batu	118
Gambar 3.20.	Peta Curah Hujan Kecamatan Bukit Batu	119
Gambar 3.21.	Peta Kawasan Hutan Kecamatan Bukit Batu .	120
Gambar 3.22.	Peta Kedalaman Gambut Kecamatan Bukit Batu	121
Gambar 3.23.	Peta Kemiringan Lahan Kecamatan Bukit Batu	121
Gambar 3.24.	Peta Kubah Gambut Kecamatan Bukit Batu ..	122
Gambar 3.25.	Peta Penutupan Lahan Kecamatan Bukit Batu	123
Gambar 3.26.	Peta Satuan Jenis Tanah Kecamatan Bukit Batu	124
Gambar 3.27.	Peta Lokasi Demplot Penelitian di Kecamatan Bukit Batu.....	125
Gambar 3.28.	Alat di stasiun cuaca di Bukti Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau.....	126
Gambar 4.1.	Peta tata guna lahan tahun 2012	130
Gambar 4.2.	Peta Jenis Tanah	131
Gambar 4.3.	Peta kemiringan tanah	132
Gambar 4.4.	Lokasi penelitian di DAS Siak.....	134
Gambar 4.5.	Lokasi Penelitian Titik 1A dan Titik 1B Serta Penggunaan Lahan Karet.....	135
Gambar 4.6.	Pengambilan Sampel Tanah Pada Lokasi Penelitian Titik.....	136
Gambar 4.7.	Instalasi dan Pengukuran Infiltrasi di Titik 1A	
Gambar 4.8.	Pengukuran Infiltrasi di Titik 1B.....	137
Gambar 4.9.	Lokasi Penelitian Titik 3A dan Titik 3B Serta Penggunaan Lahan Sawit	138
Gambar 4.10.	Pengambilan Sampel Tanah dan Pengukuran Infiltrasi di Titik 3A	139
Gambar 4.11.	Pengukuran Infiltrasi di Titik 3B.....	140
Gambar 4.12.	Lokasi Penelitian Titik 6A dan Sampel Tanah Hasil Handboring.....	141
Gambar 4.13.	Pengukuran Infiltrasi di Titik 6A	141
Gambar 4.14.	Pengukuran Infiltrasi di Titik 6B.....	142
Gambar 4.15.	Lokasi Penelitian Titik 8A dan 8B dan Penggunaan Lahan HTI (Akasia)	142
Gambar 4.16.	Pengambilan Sampel Tanah Pada Titik 8A dan Titik 8B	143
Gambar 4.17.	Pengukuran Infiltrasi di Titik 8A dan Titik 8B.	144
Gambar 4.18.	Lokasi Penelitian Titik 9A dan Titik 9B.....	144
Gambar 4.19.	Pengambilan Sampel Tanah Pada Titik 9A dan Titik 9B	145
Gambar 4.20.	Pengukuran Infiltrasi di Titik 9A	145
Gambar 4.21.	Pengukuran Infiltrasi di Titik 9A	146

Gambar 4.22.	Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 1A	150
Gambar 4.23.	Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 1B	150
Gambar 4.24.	Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 6A	150
Gambar 4.25.	Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 6B	151
Gambar 4.26.	Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 8A dan Titik 8B	151
Gambar 4.27.	Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 9A	154
Gambar 4.28.	Kurva Kapasitas Infiltrasi di (a) Titik 1A, (b) Titik 1B, (c) Titik 6A,	155
Gambar 4.29.	Distribusi Hujan Jam-jaman Stasiun Senapelan	155
Gambar 4.30.	Distribusi Hujan dan Besarnya Laju Infiltrasi di Titik 1A	156
Gambar 4.31.	Kurva Laju Infiltrasi Rata-rata pada berbagai Tutupan Lahan di DAS	158
Gambar 4.32.	Kapasitas Infiltrasi Tutupan Lahan di DAS Siak	160
Gambar 4.33.	Wilayah Administrasi Kabupaten / Kota yang termasuk ke dalam DAS Siak	163
Gambar 4.34.	Grafik Pola Perubahan Tutupan Lahan Provinsi Riau dari Tahun 2003 Sampai 2013	166
Gambar 4.35.	Curah Hujan Maksimum, 2002-2013.....	168
Gambar 4.36.	Curah Hujan Minimum, 2002-2013.....	168
Gambar 4.37.	Rata-rata Curah Hujan. 2012-2013.....	169
Gambar 4.38.	Suhu Maksimum Pasar Kampar, 2012-2013..	169
Gambar 4.39.	Suhu Minimum 2012-2013.....	170
Gambar 4.40.	Grafik suhu rata rata tahun 2012-2013	171
Gambar 4.41.	Debit Maksimum Stasiun AWKR Pantai Cermin	171
Gambar 4.42.	Debit Minimum Stasiun AWKR Pantai Cermin	172
Gambar 4.43.	Debit Rata-rata Stasiun AWLR Pantai Cermin	172
Gambar 4.44.	Perbandingan luas tata guna lahan	177
Gambar 4.45.	Persentase tata guna lahan	177
Gambar 4.46.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2002 Tanpa Kalibrasi	178
Gambar 4.47.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi Pertama	181
Gambar 4.48.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi akhir	183
Gambar 4.49.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2007 Tanpa Kalibrasi	183
Gambar 4.50.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi Pertama	

Gambar 4.51.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2007 Dengan Kalibrasi Akhir	187
Gambar 4.52.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2012 Tanpa Kalibrasi ...	187
Gambar 4.53.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi Pertama.....	189
Gambar 4.54.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2012 Dengan Kalibrasi Akhir	191
Gambar 4.55.	Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahap Validasi Tahun 2006	192
Gambar 4.56.	Perubahan nilai Nisbah	194
Gambar 4.57.	Debit Rerata Bulanan Stasiun Pantai Cermin di Sungai Tapung Kiri	195
Gambar 4.58.	Grafik Perubahan nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} tiap interval	196
Gambar 4.59.	Jumlah titik-titik banjir genangan di Kota Pekanbaru	199
Gambar 4.60.	Persentase Jumlah titik-titik banjir genangan di Kota Pekanbaru	200
Gambar 4.61.	Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi existing saluran drainase di Kecamatan Payung Sekaki (kanan)	201
Gambar 4.62.	Kondisi existing salurn drainase (kiri) dan kanal banjir (kanan) di Kecamatan Bukit Raya.....	202
Gambar 4.63.	Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi existing saluran drainase di Kecamatan Tampan (kiri dan kanan)	203
Gambar 4.64.	Kondisi existing saluran drainase (kiri) waduk wisata di Kecamatan Sail (kanan)	204
Gambar 4. 65	Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi existing saluran drainase di Kecamatan Marpoyan Damai (kanan)	205
Gambar 4. 66	Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi tanggul di Kecamatan Rumbai Pesisir (kanan)	206
Gambar 4. 67	Tanggul baru (kiri) dan banjir genangan di Kecamatan Rumbai Pesisir (kanan)	207
Gambar 4. 68	Bentuk Sub DAS Siak dari data ASTER GDEM	208
Gambar 4. 69	Hidrograf Satuan Sintetik Gama I sub DAS Air Hitam.....	210

Gambar 4. 70	Perbandingan Hidrograf metode HSS Nakayasu dan HSS Gama I pada sub DAS Air Hitam	212
Gambar 4. 71	Cabang Sungai Sibam	214
Gambar 4. 72	Percabangan anak sungai di sub DAS Air Hitam	215
Gambar 4. 73	Cabang Sungai Senapelan	216
Gambar 4.74.	Cabang Sungai Sail	216
Gambar 4. 75	Cabang sungai Tenayan	217
Gambar 4. 76	Cabang Sungai Pendanau	218
Gambar 4.77	Tipe Kebakaran.....	224
Gambar 4. 78	Proses kebakaran tanah gambut.....	224
Gambar 4. 79	Kebakaran gambut mengubah permukaan tanah gambut.....	226
Gambar 4. 80	Titik api di Sumatera 2006-2013	227
Gambar 4. 81	Identifikasi titik kebakaran 2013-2015 di Provinsi Riau.	228
Gambar 4. 82	Penyebaran titik api yang terpantau	228
Gambar 4. 83	wilayah kabupaten yang terbanyak titik api 2015.....	229
Gambar 4. 84	Titik api berdasarkan wilayah perkebunan dan pertanian di Provinsi Riau, 2015	230
Gambar 4.84	Kondisi lahan gambut eksisting di Kabupaten Bengkalis yang sudah dibuat area pertanian dengan kanal-kanal	231
Gambar 4. 85	Peta Saluran/kanal di Kecamatan Bukit Batu Kabupaten Bengkalis	232
Gambar 4. 86	Papan Informasi Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan dan Lahan	233
Gambar 4. 87	Grafik curah hujan periode 21 Oktober 2014-20 November 2014.....	234
Gambar 4. 88	Grafik Temperatur Udara periode 22 Oktober 2014-26 Oktober 2014	234
Gambar 4. 90.	Grafik Kelembaban Udara Luar periode 21 Oktober 2014-20 November 2014. Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014	235
Gambar 4. 91.	Grafik Kecepatan angin periode 21 Oktober 2014-20 November 2014	235
Gambar 4. 92.	Grafik Arah angin periode 21 Oktober 2014-20 November 2014	236
Gambar 4. 93.	Grafik Temperatur dalam tanah periode 21 Oktober 2014-20 November 2014	236

Gambar 4. 94.	Grafik Kelembaban udaraperiode 21 Oktober 2014-20 November 2014	237
Gambar 4. 95.	Kombinasi Data Global Weather	237
Gambar 4. 96.	Apel Siaga Di Depan 1.000 Personil Satgas Operasi Terpadu Di Lanud TNI AU Roesmin Nurjadin, Pekanbaru, 2014.....	240
Gambar 4. 97.	Struktur Organisasi Siaga Darurat Tingkat Provinsi Riau, 2014	241
Gambar 4. 98.	Sistem Koordinasi Siaga Darurat Tingkat Provinsi Riau, 2014	242
Gambar 4. 99.	kegiatan water bombing untuk wilayah Rokan Hilir, Bengkalis dan sekitarnya tahun 2014....	243
Gambar 4. 100.	Identifikasi titik kebakaran 2013-2015 di Provinsi Riau.	244
Gambar 4. 101.	Wawancara dengan Narasumber Bapak Hermansyah	247
Gambar 4. 102.	Jumlah titik api di Kabupaten Bengkalis per Kecamatan, dalam periode 2013-2013.	248
Gambar 4. 103.	Struktur Organisasi MPA.....	249
Gambar 4. 104.	Sistem Kanalisasi di area gambut di Kabupaten Bengkalis, 2015.	253
Gambar 4.105.	Sistem Kanalisasi di perkebunan Desa Pakning, Kabupaten Bengkalis, 2013.	253
Gambar 4. 106.	Sekat kanal kayu dank anal tanpa sekat (Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau, 2014) ..	254



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. PENGANTAR

Menurut UU No 24 Tahun 2007 dan PP No 21 Tahun 2008, mitigasi bencana didefinisikan sebagai upaya yang ditujukan untuk mengurangi dampak dari bencana. Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.

Mitigasi bencana bertujuan untuk mengurangi risiko dan dampak bencana bagi masyarakat yang berada pada kawasan rawan bencana. Mitigasi bencana merupakan langkah yang perlu dilakukan sebagai suatu titik tolak utama dari manajemen bencana. Kegiatan mitigasi bencana di antaranya:

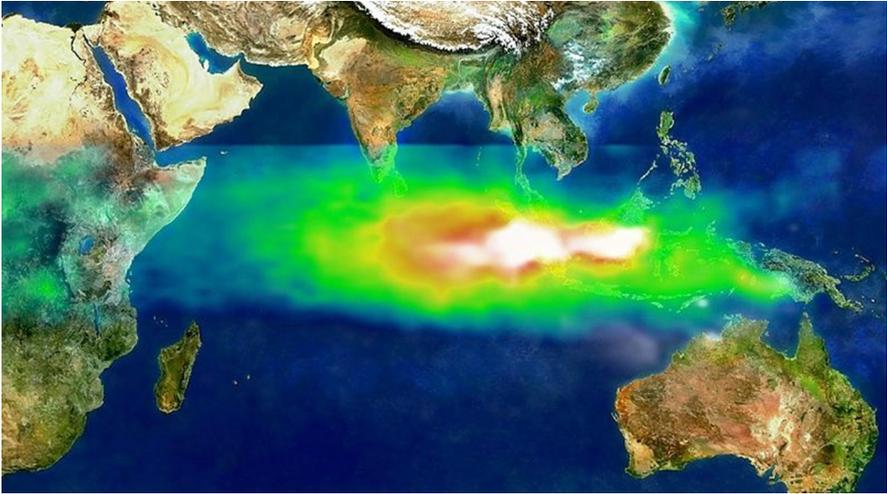
- a. pengenalan dan pemantauan risiko bencana;
- b. penerapan upaya fisik, nonfisik, dan pengaturan penanggulangan bencana;
- c. identifikasi dan pengenalan terhadap sumber bahaya atau ancaman bencana;
- d. pemantauan terhadap pengelolaan sumber daya alam;
- e. pengawasan terhadap pelaksanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan hidup.

Kejadian bencana kebakaran dan kabut asap di Riau, Indonesia akibat pembakaran lahan yang tidak terkendali telah menjadi perha-

tiap dunia sejak 18 tahun yang lalu, di tahun 2007. Bencana kebakaran dan kabut asap ini tidak saja mengancam kesehatan masyarakat di provinsi Riau, juga merugikan perekonomian dan penundaan penerbangan, namun juga telah juga menuai protes dari negara tetangga yaitu Singapura dan Malaysia. Maka perlu upaya yang komprehensif dalam mengurangi dan menanggulangnya. Sedangkan bencana banjir di DAS Siak menjadi topik yang semakin sering mencuat dalam 5 tahun terakhir ini. Tindakan mitigasi bencana seperti identifikasi penyebab, analisa dan penerapan upaya fisik maupun non-fisik (misalnya dalam bentuk kajian dan penelitian) dalam upaya penanggulangan bencana asap perlu diupayakan semaksimal mungkin.

Kebakaran hutan dan lahan ini merupakan salah satu penyebab utama kerusakan lingkungan yang menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati, polusi udara dan kerugian ekonomi serta dampak sosial. Di lahan gambut, dampak kebakaran lahan menjadi lebih serius, karena api yang tidak terkendali tidak saja menjalar di permukaan tanah namun juga di dalam tanah gambut, sehingga bencana asap ini dapat terjadi dalam waktu yang relatif lama (>1 bulan). Terminologi bencana asap ini menjadi mencuat di tahun 2014 setelah bencana ini melanda Provinsi Riau lebih dari 1 bulan sehingga mengakibatkan peningkatan jumlah penderita infeksi saluran pernafasan atas atau ISPA, yakni mencapai 38.744 jiwa (per kuartal awal tahun 2014) dan 42 penerbangan di Bandar Udara Internasional Sultan Syarif Kasim II dibatalkan pada tanggal 11 Maret 2014, karena jarak pandang di landasan pacu yang cukup rendah akibat diselimuti oleh kabut asap. Tingkat polusi udara sudah mencapai kadar sangat berbahaya, maka pemerintah kota Pekanbaru meliburkan seluruh pelajar selama 1 (satu) minggu dalam 3 (tiga) tahap. Di tahun 2015, keadaan tidak menjadi lebih baik lagi, karena hampir 3 minggu para siswa baik SD, SMP maupun SMU di liburkan karena bencana kabut asap ini dan hampir selama 1 bulan penerbangan dari dan ke kota Pekanbaru mengalami gangguan ketidak pastian seperti ditunda bahkan dibatalkan.

Bencana kabut asap ini tidak saja menyebar dan mengganggu wilayah Riau dan Pulau Sumatera, namun telah juga menyebar ke negara Malaysia, Singapura, Thailand, bahkan kabut asap ini telah mencapai benua Afrika (Gambar 1.1).



Gambar 1.1 Penyebaran kabut asap dari Sumatera telah mencapai benua Afrika.

Sumber: NASA_indonesia_smog.jpg

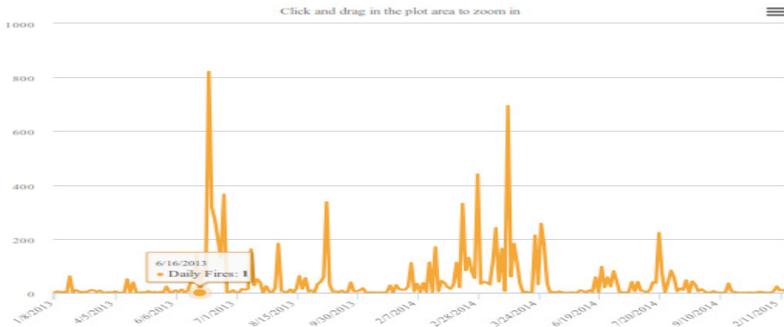
Dari gambar 1.1 citra satelit di atas terlihat bahwa area yang terkena dampak kabut asap melintasi lautan India di barat Indonesia dan lautan Pasifik di timur, meliputi area yang luas.

Adapun kejadian kebakaran hutan dan lahan di Indonesia terutama di Provinsi Riau dari Januari 2013 sampai November 2015 dapat dilihat di gambar 1.2.

Gambar ini menunjukkan fluktuasi titik api di provinsi ini terutama di bulan Juni 2013, Februari-Maret 2014, dan Juli 2014 cenderung tinggi. Hal ini terjadi karena musim kering yang relative ekstrim dari efek El-Nino, sehingga hari dan curah hujan relatif sangat sedikit.

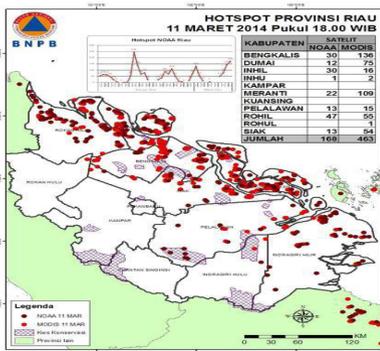
Namun ada kecenderungan bahwa jumlah titik api di tahun 2015 di provinsi Riau ini menurun. Walaupun kebut asap masi tetap terjadi. Namun hal ini dikarenakan kabut asap kiriman dari provinsi tetangga seperti provinsi Jambi, dan Sumatera Selatan.

Figure 4: FIRE ALERT COUNT JAN 1, 2013 - PRESENT



Gambar 1.2. Fluktuasi titik api di Provinsi Riau, 2013-2015.

Sumber : Global Forest Watch, 2015 di <http://firest.globalforestwatch.org>



Jumlah	Skor	Keterangan
0	0	Tidak rawan
1-2	1	Rawan rendah
3-7	2	Rawan sedang
8-44	3	Rawan tinggi
>45	4	Rawan sangat tinggi

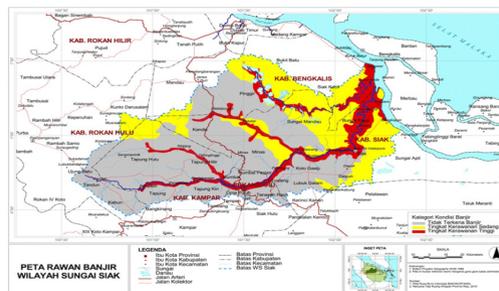
Gambar 1.3 Kelas kerawanan kebakaran berdasarkan jumlah sebaran hotspot

Sumber: BNPB, 2014

Sebagai ilustrasi, berdasarkan data BNPB, 2014 pada tanggal 11 Maret 2014, pantauan satelit NOAA mendeteksi 168 titik panas (hotspot) di Propinsi Riau, dan menurut satelit MODIS terdapat 463 titik panas. Perbedaan ini terjadi karena waktu lintas satelit yang berbeda, dan perbedaan keadaan cuaca sehingga mempengaruhi keakuratan pelaporan titik panas. Namun jumlah titik panas di Riau ini sudah sangat jauh di atas ambang batas tingkat kerawanan (45 titik panas). Kejadian di Kabupaten Siak tercatat 13 sampai 54 titik panas, yang juga telah sangat tinggi (>45) tingkat kerawanannya.

Selain meninjau bencana kebakaran dan kabut asap, buku ini juga akan meninjau tentang bencana banjir. Kerawanan banjir adalah keadaan yang menggambarkan mudah atau tidaknya suatu daerah terkena banjir. Hal ini didasarkan pada faktor-fak-

tor alam yang mempengaruhi banjir antara lain faktor meteorologi (intensitas curah hujan, distribusi curah hujan, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung) dan karakteristik Daerah Aliran Sungai (kemiringan lahan/kelerengan). Peta kerawanan banjir merupakan bagian dari sistem peringatan dini (*early warning system*) dari bahaya dan resiko banjir sehingga akibat dari bencana banjir dapat diperkirakan dan pada akhirnya dampaknya dapat diminimalkan. Peta awal yang menggambarkan tentang kerawanan banjir Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 1.4 Daerah Rawan Banjir di WS Siak

(Sumber : Bappeda Provinsi Riau dan Balai Wilayah Sungai Sumatera III, Tahun 2011)

Pada Peta di atas, wilayah yang ditutupi warna merah merupakan wilayah yang berada disekitar pinggiran Sungai Siak yang memiliki tingkat kerawanan tergolong tinggi terhadap bencana banjir. Daerah-daerah ini terletak disekitar aliran sungai dan anak-anak sungai Siak dan mayoritas terdapat pada bagian Hilir Das Siak.

Tabel 1.1 Pembagian Kriteria Kelas Wilayah dan Jumlah Curah Hujan

No.	Kelas	Jumlah Curah Hujan (mm/tahun)	Skor
1	Sangat basah	> 3.000	9
2	Basah	2.501 – 3.000	7
3	Sedang/Lembab	2.001 – 2.500	5
4	Kering	1.501 – 2.000	3
5	Sangat Kering	< 1.500	1

Sumber: BNPB, 2014.

Berdasarkan kriteria di atas maka wilayah DAS Siak relative basah dengan jumlah curah hujan per tahunnya >2.500 mm dan berpotensi banjir. Namun saat musim kering curah hujan bulanan bisa < 1000 mm atau 10 hari tidak ada hujan terus menerus, maka wilayah sekitar DAS ini bisa menjadi relatif kering, sehingga meningkatkan potensi kerawanan bencana kebakaran lahan dan bencana asap.

Berdasarkan data tahun 2014 dan 2015 jumlah hujan di bulan Juli, Agustus, September dan Oktober lebih besar dari 10 hari. Suhu muka laut cenderung hangat akibat terkena dampak dari kondisi global El Nino sehingga pada bulan-bulan itu cuaca tetap kering dan pertumbuhan awan relative kecil sehingga hari hujan dan intensitas hujan menjadi berkurang (BMKG Provinsi Riau, 2015 dalam <https://www.riau.go.id/>).

Dari tahun 1990-2008, fluktuasi debit rata-rata tahunan (selisih debit air sungai Siak maksimum dengan minimum) relatif stabil di bawah 200 m³/detik. Dalam pengertian sistem DAS, maka keadaan ini dianggap relatif bagus. Namun fluktuasi debit rata-rata ini menjadi tinggi antara musim hujan dengan musim kering menjadi 2 kali lipatnya (di angka 400 sampai 450 m³/detik dari tahun 2009-2012). Lonjakan terjadi ditahun 2008-2009. Loncatan yang signifikan ini dapat diartikan DAS sudah sudah mulai terganggu, maka perlu dianalisa dalam kaitannya dengan perubahan cuaca dan perubahan tataguna lahan.



Gambar 1.5 fluktuasi selisih debit air sungai Siak maksimum (Q_{mak}) dengan minimum (Q_{min}) selama 22 tahun (1990-2012).

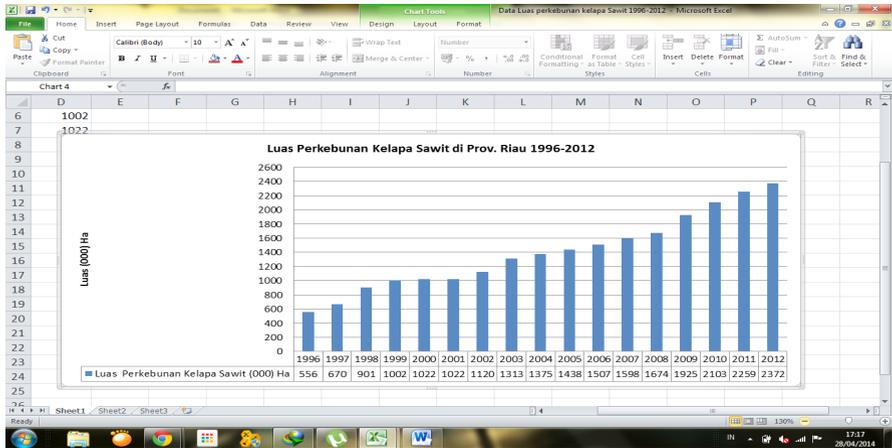
Akibat langsung dari tingginya fluktuasi selisih debit air sungai Siak maksimum dengan minimum adalah dalam bentuk terjadinya banjir dan kekeringan dengan pola yang lebih sering tiap tahunnya. Kota Pekanbaru menjadi daerah yang cukup serius terkena dampak banjir Sungai Siak dan luas daerah rawan banjir di Kota Pekanbaru semakin naik sehingga mencapai 8.755 ha di tahun 2011 (Balai Wilayah Sungai Sumatera III, Tahun 2011).

1.2 APA MASALAHNYA

Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak termasuk DAS kritis, kawasan rawan bencana banjir, pencemaran, erosi, dan bencana kebakaran lahan serta bencana asap. Kejadian banjir di Provinsi Riau akibat meluapnya Sungai Siak dan anak-anak sungainya, dan bencana kebakaran serta asap merupakan indikator adanya perubahan ekosistem pada DAS tersebut. Perubahan ekosistem tersebut disebabkan oleh wilayah dalam DAS Siak merupakan daerah yang potensial berkembang bagi kegiatan sosial ekonomi masyarakat.

Daerah Aliran Air (DAS) Siak, Propinsi Riau mencakup area seluas 2.081.093 hektar. Kedalaman sekitar 20-30 meter dengan Panjang 300 kilometer. Sungai Siak melewati empat wilayah administrasi kabupaten dan satu wilayah administrasi kota yaitu kabupaten Rokan Hulu, kabupaten Bengkalis, Kabupaten Siak, Kabupaten Kampar dan Kota Pekanbaru dimana seluruh Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak berada di Provinsi Riau (Gambar 1.3). Bagian hulu dari DAS Siak adalah dari dua sungai yaitu Sungai Tapung Kanan dan Sungai Tapung Kiri. Jenis tanah di DAS Siak organosol gley humus dan podsolik merah kuning, bertekstur halus (liat), sedang (lempung) dan kasar (pasir), dengan kedalaman topsoil antara 30-60 cm dan >90 cm dari atas permukaan tanah. Sedangkan di bagian hilir adalah berupa tanah gambut dan rawa.

Perubahan pola tataguna lahan dari semak belukar dan hutan menjadi perkebunan sawit di Provinsi Riau naik hampir 500% dari 556 ribu hektar menjadi 2.37 juta hektar dalam periode 17 tahun (1996-2012). Pada tahun 2006 luasan kebun sawit di ini telah mencapai 1,5 juta hektar. Perkembangan perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau merupakan yang tertinggi di Indonesia (data 2012).



Gambar 1.6 Perkembangan luas perkebunan kelapa sawit di Provinsi Riau 1996-2012
(Sumber: Data BPS 2013)



Gambar 1.7 Pembukaan lahan sawit skala besar
(Sumber : Isabella Maharani, dkk, 2009)

1.3. APA YANG PERLU DIKAJI

Buku ini mengkaji kerangka fikir atau kerangka kerja (*frame work*) untuk mitigasi banjir dan bencana kebakaran di lahan gambut. Adapun hal-hal yang perlu dikaji dalam penulisan buku ini adalah sebagai berikut:

- Mengidentifikasi perubahan tataguna lahan perkebunan sawit di 5 kabupaten dan 1 Kota di Provinsi Riau, Kabupaten Kampar, Rokan Hulu Kabupaten Siak, Kabupaten Pelalawan, Kabupaten Bengkalis dan Kota Pekanbaru yang berada di DAS Siak.

- Mengidentifikasi dan menghitung parameter-parameter infiltrasi tanah dengan 4 kriteria tutupan lahan yaitu HTI, Karet, Sawit yang belum menghasilkan dan Sawit yang sudah menghasilkan.
- Memodelkan Sistem di DAS Siak
- Mengidentifikasi area rawan banjir di Kota Pekanbaru Ibu Kota Provinsi Riau.
- Memitigasi bencana banjir di area tinjauan.
- Memahami karakteristik, tipe dan bagaimana proses kebakaran di lahan gambut.
- Meninjau *rapid responses*, *early warning*, dan *quick responses* dalam mengantisipasi bencana kebakaran.
- Tinjauan aspek peraturan, koordinasi, sosial-ekonomi dan aspek teknis dalam mengelola tanggap darurat kebakaran.

Buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan diantaranya sebagai *guide line* dalam pengembangan *framework* untuk mitigasi bencana asap dan banjir secara sistematis dan terarah.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Mitigasi Bencana

Mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik, sosialisasi untuk meningkatkan kesadaran, dan peningkatan kemampuan masyarakat dalam menghadapi ancaman bencana. Mitigasi bencana merupakan suatu aktivitas yang berperan sebagai tindakan pengurangan dampak bencana, atau usaha-usaha yang dilakukan untuk mengurangi korban ketika bencana, baik korban jiwa maupun harta (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2008 Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana).

Dalam melakukan tindakan mitigasi bencana, langkah awal yang harus dilakukan adalah melakukan kajian risiko bencana terhadap daerah tersebut. Dalam menghitung risiko bencana suatu daerah, harus mengetahui tingkat bahaya (hazard), kerentanan (vulnerability) dan kapasitas (capacity) suatu wilayah yang berdasarkan pada karakteristik kondisi fisik dan wilayahnya (Pusat Pendidikan Mitigasi Bencana (P2MB), 2010).

Bahaya (hazard) menurut P2MB (2010) merupakan suatu kejadian yang mempunyai potensi untuk menyebabkan terjadinya kecelakaan, cedera, hilangnya nyawa atau kehilangan harta benda. Bahaya bisa menimbulkan bencana atau tidak menimbulkan ben-

cana. Bahaya dianggap sebuah bencana (disaster) apabila telah menimbulkan korban dan kerugian.

Bencana asap di Riau, tahun 2015 telah menelan korban 1 orang meninggal dunia dan lebih dari 15.000 orang terkena penyakit infeksi saluran pernapasan akut (ISPA).

2.2. Banjir

Banjir merupakan suatu peristiwa meluapnya air dari batas tebing sungai dalam jangka waktu relatif pendek atau suatu peristiwa menggenangnya air di permukaan tanah sampai melebihi batas waktu tertentu yang mengakibatkan kerugian. Di wilayah-wilayah Indonesia, peristiwa bencana banjir paling sering terjadi dan berulang setiap tahunnya, terutama pada saat musim penghujan. Hingga saat ini, permasalahan banjir belum dapat terselesaikan dan bahkan cenderung meningkat frekuensinya, luasannya, kedalamannya, maupun durasinya (Suripin, 2004).

Pertambahan jumlah penduduk, tidak teraturnya tata ruang perkotaan, tidak tersedianya sarana prasarana perkotaan, dan pemanfaatan tata guna lahan yang tidak tertib mengakibatkan meningkatnya permasalahan banjir di wilayah perkotaan. Jumlah penduduk yang semakin bertambah dengan urbanisasi ataupun penduduk tetap yang tidak mengimbangi kesadaran akan pentingnya upaya pencegahan dan penanganan banjir akan semakin memperburuk permasalahan banjir di wilayah perkotaan. Selain itu, penerapan hukum yang tidak konsisten oleh pemerintah juga akan menambah daftar panjang permasalahan banjir (Suripin, 2004).

Bencana banjir dipengaruhi oleh 3 (tiga) elemen, yaitu elemen meteorologi, elemen karakteristik fisik DAS dan elemen manusia. Untuk faktor meteorologi, yang berpengaruh menimbulkan banjir adalah intensitas curah hujan, distribusi curah hujan, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung. Sedangkan karakteristik fisik DAS yang berpengaruh terhadap terjadinya banjir adalah luas DAS, kemiringan lahan, ketinggian lahan, penggunaan lahan, dan tekstur tanah. Dan manusia berperan terhadap percepatan perubahan karakteristik fisik DAS (Suherlan, 2001 dalam Suhardiman, 2012).

Bencana banjir terjadi setelah memenuhi sejumlah kondisi, antara lain intensitas hujan yang melampaui kapasitas infiltrasi tanah

dan hujan deras yang berlangsung relatif lama (mencapai atau melampaui waktu konsentrasi sungai) dan terjadi pada wilayah yang luas, sehingga tercapai akumulasi debit aliran yang melampaui daya tampung sungai (Pawitan, 2006 dalam Primayuda, A, 2006).

Menurut Suripin (2004), penyebab banjir dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu:

1. Banjir kiriman

Aliran banjir yang datangnya dari daerah hulu di luar kawasan yang tergenang. Hal ini terjadi jika hujan yang terjadi di daerah hulu menimbulkan aliran banjir yang melebihi kapasitas sungainya atau banjir kanal yang ada, sehingga mengakibatkan terjadinya limpasan.

2. Banjir lokal (banjir genangan)

Genangan air yang timbul akibat hujan yang jatuh di daerah itu sendiri. Hal ini dapat terjadi kalau hujan yang terjadi melebihi kapasitas sistem drainase yang ada. Pada banjir lokal, ketinggian genangan air antara 0,2 – 0,7 m dan lama genangan 1 – 8 jam. Banjir ini terdapat pada daerah yang rendah.

3. Banjir rob (banjir air pasang)

Banjir yang terjadi baik akibat aliran langsung air pasang dan/ atau air balik dari saluran drainase akibat terhambat oleh air pasang.

Menurut Isnugroho (2006) dalam Pratomo, A.J (2008), kawasan rawan banjir genangan merupakan kawasan yang sering atau berpotensi tinggi mengalami bencana banjir genangan sesuai karakteristik penyebab banjir. Kawasan banjir dapat dikategorikan menjadi 4 (empat) tipologi (**Gambar 2.1**), yaitu sebagai berikut.

a. Daerah pantai

Daerah pantai merupakan daerah yang rawan banjir karena daerah tersebut merupakan dataran rendah yang elevasi permukaan tanahnya lebih rendah atau sama dengan elevasi air laut pasang rata-rata (*mean sea level*) dan tempat bermuaranya sungai yang biasanya mempunyai permasalahan penyumbatan muara.

b. Daerah dataran banjir (*floodplain area*)

Daerah dataran banjir (*floodplain area*) adalah daerah di kanan dan kiri sungai yang muka tanahnya sangat landai dan relatif datar, sehingga aliran air menuju sungai sangat lambat yang mengakibatkan daerah tersebut rawan terhadap banjir baik oleh luapan air sungai maupun karena hujan lokal. Kawasan ini umumnya terbentuk dari endapan lumpur yang sangat subur sehingga merupakan daerah pengembangan (pembudidayaan) seperti perkotaan, pertanian, pemukiman dan pusat kegiatan perekonomian, perdagangan, industri, dan lain-lain.

c. Daerah sempadan sungai

Daerah ini merupakan kawasan rawan banjir, akan tetapi di daerah perkotaan yang padat penduduk daerah sempadan sungai sering dimanfaatkan oleh manusia sebagai tempat hunian dan kegiatan usaha sehingga apabila terjadi banjir akan menimbulkan dampak bencana yang membahayakan jiwa dan harta benda.

d. Daerah cekungan

Daerah cekungan merupakan daerah yang relatif cukup luas baik di dataran rendah maupun di dataran tinggi. Apabila penataan kawasan tidak terkendali dan sistem drainase yang kurang memadai, dapat menjadi daerah rawan banjir.

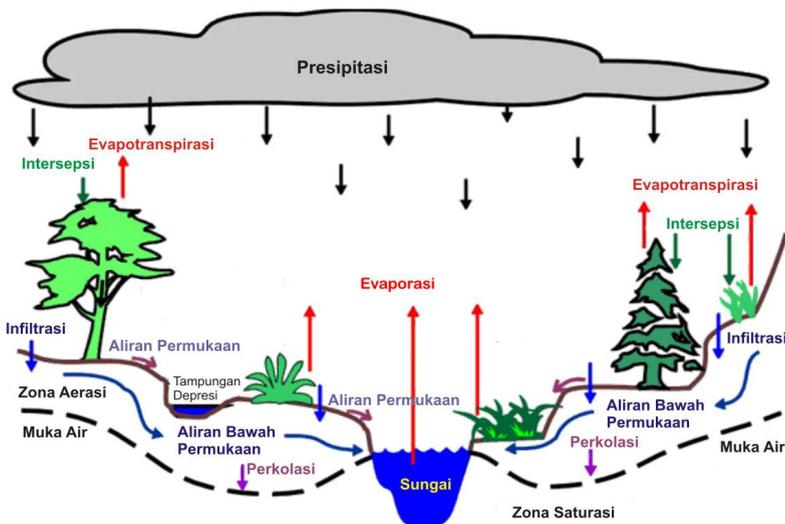
2.3 Konsep Hidrologi

Menurut Suripin (2004) secara keseluruhan jumlah air di planet bumi ini relatif tetap dari masa ke masa. Air di bumi mengalami suatu siklus melalui serangkaian peristiwa yang berlangsung terus-menerus yang disebut siklus hidrologi (*hydrologic cycle*).

Air menguap dari permukaan samudera akibat energi panas matahari. Laju dan jumlah penguapan bervariasi, terbesar terjadi di dekat equator, dimana radiasi matahari lebih kuat. Uap air adalah murni, karena pada waktu dibawa naik ke atmosfer kandungan garam ditinggalkan. Dalam kondisi yang memungkinkan, uap air tersebut mengalami kondensasi dan membentuk butir-butir air yang akan jatuh kembali sebagai presipitasi berupa hujan. Presipitasi ada yang jatuh ke samudera, di darat, dan sebagian langsung menguap kembali sebelum mencapai ke permukaan bumi (Suripin, 2004).

Presipitasi yang jatuh ke bumi menyebar ke berbagai arah dan dengan berapa cara. Sebagian akan tertahan sementara di permukaan bumi sebagai es atau salju, atau genangan air, yang dikenal dengan simpanan depresi. Sebagian air hujan atau lelehan salju akan mengalir ke saluran atau sungai. Hal ini disebut aliran/limpasan permukaan. Jika permukaan tanah berporos, maka sebagian air meresap ke tanah melalui peristiwa yang disebut infiltrasi. Sebagian lagi akan kembali ke atmosfer melalui penguapan dan transpirasi oleh tanaman yang disebut evapotranspirasi (Suripin, 2004).

Triatmodjo (2010) mengemukakan bahwa ilmu hidrologi lebih banyak didasarkan pada pengetahuan empiris daripada teoritis. Hal ini karena banyaknya parameter yang berpengaruh pada kondisi hidrologi di suatu daerah, seperti kondisi klimatologi (angin, suhu udara, kelembaban udara dan penyinaran matahari) serta kondisi lahan (daerah aliran sungai) seperti jenis tanah, tata guna lahan, kemiringan lahan dan sebagainya. Banyaknya parameter tersebut mengakibatkan analisis hidrologi sulit diselesaikan secara analitis. Disamping itu, kondisi hidrologi juga sangat dinamis yang tergantung pada perubahan atau kegiatan yang dilakukan oleh manusia, seperti perubahan tata guna lahan dan perubahan penutup permukaan tanah.

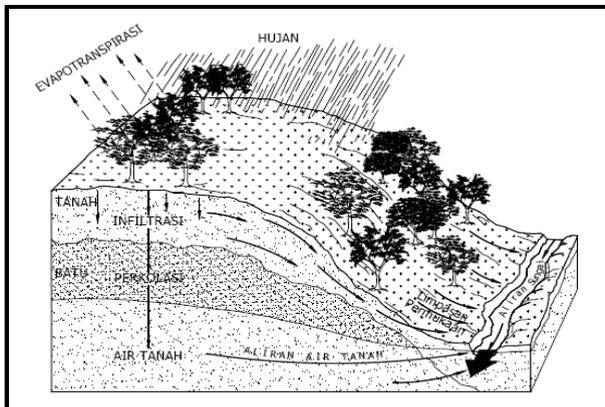


Gambar 2.1 Siklus Hidrologi (Hydrologic Cycle)
 Sumber : Analisis Debit Sungai, Maulana Ibrahim, 2012

2.4 Limpasan (*Run Off*)

Siklus hidrologi ketergantungan pada banyak variabel seperti aliran air, sebagai akibat terjadinya hujan, unsur iklim, suhu, kelembaban, tekanan udara, kecepatan angin dan durasi penyinaran sinar matahari.

Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan menjadi limpasan permukaan dan masuk ke dalam tanah. Besarnya air yang mengalir sebagai limpasan tergantung pada banyak faktor antara lain penutup lahan dan jenis geologi permukaan tanah daerah tersebut (Sri Harto, 2000).



Gambar 2.2 Ilustrasi proses terbentuknya aliran sungai
(Sumber: Sri Harto, 2000)

Variabilitas unsur-unsur aliran, yang digunakan oleh model sebagai dasar pemodelannya aliran, yaitu (Sri Harto, 2000) :

1. *linear time invariant*, sistem dianggap linier dan tidak berubah menurut waktu.
2. *non-linear time invariant*, sistem dianggap tidak linier dan tidak berubah menurut waktu.
3. *linear time variant*, sistem dianggap linier dan berubah menurut waktu.
4. *non-linear time variant*, sistem dianggap non-linier dan berubah menurut waktu.

Menurut Horton (Chow *et. al.* 1988) limpasan permukaan merupakan bagian dari hujan yang tidak terserap tanah oleh infiltrasi. Limpasan langsung hanya dapat terjadi apabila intensitas hujan lebih tinggi dari laju infiltrasi, dan apabila intensitas lebih kecil dari laju in-

filtrasi maka limpasan langsung tidak terjadi. Meskipun teori Horton sangat sederhana, namun dalam fenomena alam sebenarnya, yang terjadi adalah sangat kompleks.

2.5 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau (Triatmodjo, 2010). Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Asdak (1995) menyebutkan bahwa daerah aliran sungai biasanya dibagi menjadi daerah hulu, tengah, dan daerah hilir. Daerah hulu dicirikan sebagai daerah konservasi, mempunyai serapan drainase yang lebih tinggi, merupakan daerah dengan kemiringan lereng lebih besar (lebih besar dari 15%), bukan merupakan daerah banjir, pengaturan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase. Sementara daerah hilir DAS merupakan daerah pemanfaatan, kerapatan drainase lebih kecil, merupakan daerah dengan kemiringan kecil sampai sangat kecil (kurang dari 8%), pada beberapa tempat merupakan daerah banjir (genangan air).

2.6 Debit aliran sungai

Menurut Triatmodjo (2010), debit aliran sungai merupakan volume air yang mengalir melalui tampang lintang sungai tiap satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik (m^3/d). Mengingat debit aliran sungai sangat bervariasi dari waktu ke waktu maka diperlukan data pengamatan debit dalam jangka waktu yang panjang. Hal tersebut berguna dalam hubungannya akan kebutuhan data di masa yang akan datang dalam usaha pemanfaatan air sungai.

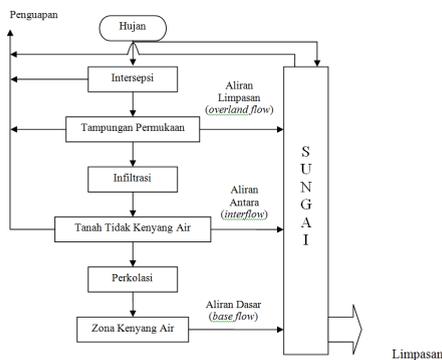
Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1993), pengukuran debit aliran sungai dapat dilakukan dengan cara – cara berikut, diantaranya:

1. Pengukuran debit dengan bendung,
2. Perhitungan debit dengan mengukur kecepatan aliran dan luas penampang melintang (untuk pengukuran kecepatan digunakan pelampung atau pengukur arus dengan kincir),
3. Dengan menggunakan pengukur arus magnetis, pengukur arus gelombang supersonik, venturi meter dan sebagainya.

Selain menggunakan cara di atas, pengukuran debit aliran sungai dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran elevasi muka air di stasiun hidrometri yang bersangkutan. Alat pencatat elevasi muka air dapat berupa papan duga dengan meteran (staff gauge) atau alat pengukur elevasi muka air secara otomatis yang disebut AWLR (Automatic Water Level Recorder). Selanjutnya dapat ditentukan hubungan antara debit dan tinggi muka air untuk suatu penampang tertentu yang disebut liku kalibrasi (rating curve). Hubungan ini diperlukan untuk mengubah hasil rekaman AWLR (stage hydrograph) menjadi discharge hydrograph

2.7 Komponen Sistem

Memperhatikan kembali skema proses pengalihragaman (transformasi) dari komponen masukan (hujan) menjadi limpasan sebagaimana **Gambar 2.3**, maka seluruh proses tersebut merupakan proses yang menerus dan terdapat saling keterkaitan antar bagian di dalam proses.



Gambar 2.3 Skema siklus hidrologi (Chow *et. al.* 1988)

Komponen-komponen (variabel) yang mempengaruhi proses pengalihragaman (transformasi) hujan menjadi aliran dapat dipisahkan dalam beberapa bagian sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2.1**. Dalam tabel tersebut komponen utama dalam proses hidrologi meliputi 4 (empat) komponen utama yaitu : hidrometeorologi, permukaan (*surface*), bawah permukaan (*sub surface*) dan sungai.

Tabel 2.1 Komponen di dalam proses hidrologi

No.	Komponen	Unsur
1.	Hidrometeorologi	a. Hujan b. Radiasi matahari c. Suhu dan kelembaban d. Kecepatan angin
2.	Permukaan	a. Intersepsi b. Penguapan c. Infiltrasi d. Limpasan
3.	Bawah Permukaan	a. Tampungan bawah permukaan b. Aliran antara c. Aliran Dasar
4.	Sungai	a. Hidrometri b. Penelusuran

(Sumber : Sri Harto,2000)

Data hujan yang digunakan dalam model merupakan data yang 'ideal' atau 'error free'. Pengertian 'error free' disini diartikan bahwa data yang ada, mengandung kesalahan sekecil mungkin, karena dalam kenyataan tidak akan pernah ditemukan data yang benar-benar bebas dari kesalahan. Data hidrometri yang terutama berupa data tinggi muka air (AWLR) dan data debit. Sedangkan untuk unsur penelusuran, bahwa besar dan sifat aliran (hidrograf) disepanjang sungai mengalami perubahan. Dengan demikian sebenarnya dalam pemodelan terdapat fungsi bangkitan (*generating function*) dan fungsi penelusuran (*routing function*).

2.8. Infiltrasi

Dalam proses siklus hidrologi, infiltrasi merupakan salah satu merupakan salah satu komponen selain hujan, penguapan, perkolasi dan aliran permukaan. Dalam banyak penelitian dinyatakan bahwa laju infiltrasi sangat terkait atau memiliki korelasi kuat terhadap tutupan lahan (land use). Ilustrasi sederhana mengenai hubungan tutupan lahan terhadap prosentase besaran infiltrasi dan aliran permukaan (run off) sebagaimana ditunjukkan Gambar 2.4.

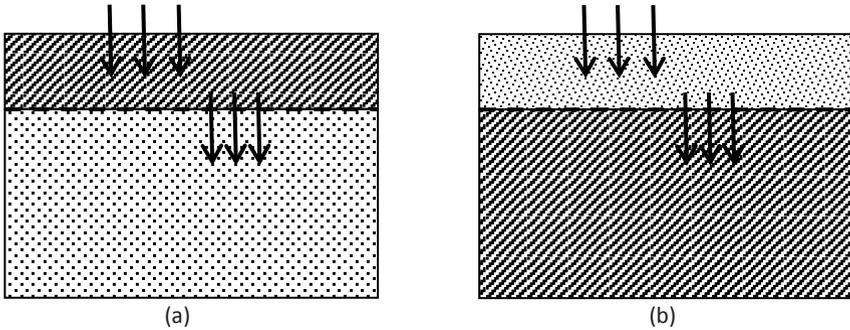


Gambar 2.4 Prosentase Laju Infiltrasi dan Run off Pada Kawasan Permukiman

Infiltrasi merupakan masuknya air di permukaan tanah kedalam tanah (Dagadu J.S. dan Nimbalkar P.T., 2012). Masuknya air dari permukaan ke dalam tanah untuk mengisi porositas akibat gaya gravitasi dan kapiler. Dalam banyak pembahasan ilmiah, area terjadinya infiltrasi berada pada zona akar. Masuknya rembesan air lebih jauh ke dalam tanah dikenal dengan istilah perkolasi. Sri Harto (1993) mengilustrasikan keterkaitan antara infiltrasi dengan perkolasi dengan sketsa Gambar 2.5. Pada Gambar 2.5a formasi tanah lapisan atas mempunyai laju infiltrasi kecil tapi lapisan bawah mempunyai laju perkolasi tinggi, Sebaliknya Gambar 2.5b menunjukkan lapisan atas dengan laju infiltrasi tinggi sedangkan laju perkolasi pada lapisan bawah rendah.

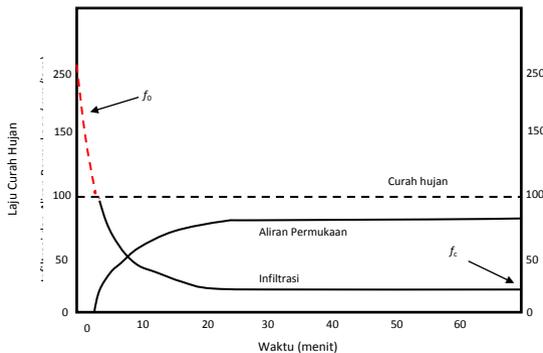
Pada Gambar 2.5a meski laju perkolasi tinggi tapi laju infiltrasi yang memberikan masukan air terbatas. Dalam keadaan seimbang kedua kenyataan ini ditentukan oleh laju infiltrasi. Sebaliknya pada Gambar 2.5b laju perkolasi yang rendah menentukan keadaan

seluruhnya. Dalam kenyataannya, proses yang terjadi tidak sesederhana itu, karena adanya kemungkinan aliran antara.



Gambar 2.5 Skema Infiltrasi dan Perkolasi Pada Dua Lapisan Tanah (Sri Harto, 1993)

Terdapat dua parameter penting berkaitan dengan infiltrasi yaitu laju infiltrasi dan kapasitas infiltrasi. Laju infiltrasi berkaitan dengan banyaknya air per satuan waktu yang masuk melalui permukaan tanah. Sedangkan kapasitas infiltrasi adalah laju maksimum air dapat masuk ke dalam tanah pada suatu saat (Arsyad 1989). Lebih lanjut dijelaskan, kapasitas infiltrasi tanah pada saat permulaan hujan adalah terbesar, kemudian berkurang dengan semakin lamanya hujan, sehingga mencapai nilai minimum yang konstan (Gambar 2.6). Dari gambar itu, aliran permukaan baru terjadi setelah beberapa saat hujan berlangsung, yaitu ketika laju hujan menjadi lebih tinggi dari laju infiltrasi. Selama hujan berlangsung laju aliran permukaan meningkat dengan semakin berkurangnya laju infiltrasi. Laju aliran permukaan pada akhirnya akan mencapai nilai maksimum yang konstan.



Gambar 2.6 Hubungan Antara Infiltrasi Dengan Aliran Permukaan Dan Curah Hujan

2.8.1 Proses Terjadinya Infiltrasi

Peristiwa masuknya air ke dalam tanah terjadi karena adanya perbedaan potensial air tanah. Air bergerak dari potensial tinggi ke potensial yang lebih rendah. Dalam Soepardi (1979), potensial air tanah didefinisikan sebagai jumlah kerja yang harus dilakukan tiap satuan jumlah air murni agar dapat dipindahkan secara berlawanan dan secara isothermal sejumlah air tak terbatas dari suatu gudang (pool) air murni dari ketinggian tertentu bertekanan atmosferik ke air tanah (ke tempat yang dipersoalkan). Menurut Seyhan (1977), potensial air tanah (atau potensial lengas) terutama dibagi menjadi komponen potensial kapiler (atau potensial matriks) dan potensial gravitasi. Namun terdapat komponen lainnya (Yong 1975, diacu dalam Seyhan 1977) yang juga berperan pada potensial total tanah.

Potensial matriks merupakan hasil dari dua gaya, yaitu jerapan dan kapilaritas. Potensial gravitasi bekerja pada air tanah sebagaimana ia mempengaruhi benda-benda lainnya, dan tarikannya adalah ke pusat bumi. Potensial osmotik disebabkan oleh adanya bahan terlarut dalam tanah atau dengan kata lain oleh adanya larutan tanah (Soepardi 1979).

Karena infiltrasi menyebabkan tanah menjadi lebih basah sejalan dengan waktu, maka air pada sisi depan dari muka tanah (water front) akan bergerak maju ke daerah tanah yang lebih kering dibawah pengaruh gradien potensial matrik dan juga potensial gravitasi. Selama fase awal dari infiltrasi ini, ketika muka basah masih berada di dekat permukaan tanah, potensial matrik lebih dominan dibanding dengan potensial gravitasi (Jury dan Horton 2004).

Ketika air hujan jatuh di atas permukaan tanah, tergantung pada kondisi biofisik permukaan tanah, sebagian atau seluruh air hujan tersebut akan mengalir ke dalam tanah melalui pori-pori permukaan tanah. Proses mengalirnya air hujan ke dalam tanah disebabkan oleh adanya gaya gravitasi dan gaya kapiler tanah (Asdak 2004).

Laju air infiltrasi yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dibatasi oleh besarnya diameter pori-pori tanah. Di bawah pengaruh gaya gravitasi, air hujan mengalir vertikal ke dalam tanah melalui profil tanah. Pada sisi lain, gaya kapiler bersifat mengalirkan air tersebut tegak lurus ke atas, ke bawah dan ke arah horisontal (lateral). Gaya kapiler tanah ini bekerja nyata pada tanah dengan pori-pori yang

relatif kecil. Pada tanah dengan pori-pori yang relatif besar, gaya ini dapat diabaikan pengaruhnya dan air mengalir ke tanah yang lebih dalam oleh pengaruh gaya gravitasi. Dalam perjalanannya tersebut, air juga mengalami penyebaran ke arah lateral akibat tarikan gaya kapiler tanah, terutama ke arah tanah dengan pori-pori yang lebih sempit dan tanah yang lebih kering (Asdak 2004).

Kekuatan gravitasi harus mengatasi seluruh kekuatan yang menahan pergerakan masuk dari air seperti adhesi dan kekuatan viskos atau kekentalan (Gray et al 1970 diacu dalam Singh 1992). Asdak (2004) kemudian menyimpulkan bahwa mekanisme infiltrasi melibatkan tiga proses yang tidak saling mempengaruhi: (a) proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah, (b) tertampungnya air hujan tersebut ke dalam tanah, (c) proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain (bawah, samping, atas).

Selama infiltrasi, muka basah (*wetting front*) dari kandungan air tanah yang lebih tinggi akan bergerak turun melalui tanah selama waktu tertentu. Keterjalan muka basah tergantung pada distribusi ukuran pori. Untuk tanah dengan tekstur tanah dengan distribusi ukuran pori yang sempit, muka basah akan lebih terjal. Sedangkan dalam tanah dengan tekstur halus, muka basah akan lebih tersebar. Muka basah adalah kombinasi dari air baru yang ditambahkan oleh hujan dan air lama yang telah dipindahkan ke kedalaman yang lebih rendah.

Berkaitan dengan proses terjadinya infiltrasi ini, Arsyad 1989) menjelaskan bahwa infiltrasi ke dalam tanah (vertikal) yang pada mulanya tidak jenuh, umumnya terjadi di bawah pengaruh sedotan matriks dan gravitasi. Dengan masuknya air lebih dalam dan lebih dalamnya profil tanah yang basah, maka sedotan matriks berkurang oleh karena jarak antara air di permukaan tanah dengan bagian yang belum basah semakin jauh. Keadaan ini berjalan terus. Dengan makin jauhnya bagian yang belum basah dari permukaan basah dari permukaan tanah, maka sedotan matriks semakin kecil sampai dapat diabaikan, hingga tinggal tarikan gravitasi saja yang menyebabkan air bergerak ke bawah. Hal ini menyebabkan laju infiltrasi berkurang dengan lamanya (waktu) hujan berlangsung.

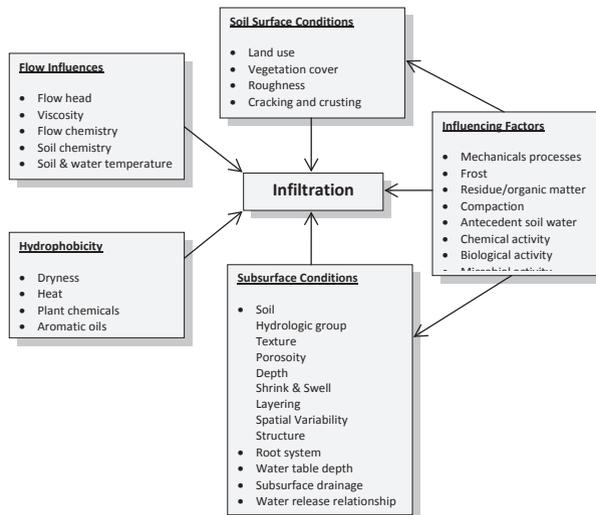
2.8.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi

Sebagai sebuah proses alam yang kompleks, terdapat banyak faktor yang mempengaruhi (laju) infiltrasi. Tergantung pada latar belakang keilmuan, sudut pandang, dan tingkat kedalamannya, para ahli telah mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi sebagaimana pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Infiltrasi Menurut Pakar

	Penulis	Faktor
1	Arsyad (1989)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekstur tanah 2. Tekstur tanah yang berkaitan dengan ukuran pori dan kemantapan pori 3. Kandungan air 4. Profil tanah
2	Asdak (2004)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekstur dan struktur tanah 2. Kelembaban tanah 3. Unsur organik 4. Jenis dan kedalaman serasah 5. Tumbuhan bawah dan tajuk penutup tanah lainnya
3	Musgrave dan Holtan (1950)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Masukan permukaan 2. Transmisi melalui tanah 3. Pengurangan kapasitas simpanan yang tersedia di dalam tanah 4. Karakteristik dari medium permeabel 5. Karakteristik dari fluida
4	Rawls <i>et al</i> (1993)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Faktor-faktor tanah termasuk sifat-sifat fisik tanah dan sifat-sifat air tanah 2. Faktor-faktor permukaan 3. Faktor-faktor pengelolaan 4. Faktor-faktor alami
5	Schwab <i>et al</i> (1966)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Faktor tanah : (a) ukuran partikel yang membentuk tanah, (b) derajat agregasi antar partikel, (c) susunan partikel dan agregat 2. Vegetasi 3. Faktor lain : (a) kadar air/antecedent soil moisture, (b) kemiringan tanah, (c) temperatur air
6	Seyhan (1990)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Karakteristik-karakteristik hujan 2. Kondisi-kondisi permukaan tanah 3. Kondisi-kondisi penutup lahan 4. Transbilas tanah 5. Karakteristik-karakteristik air yang berinfiltrasi

	Penulis	Faktor
7	Sinukaban (2006)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Luas dan jenis vegetasi penutup 2. Keadaan permukaan tanah (pengaruh dari lapisan-lapisan tanah : surface crust dan surface seal) 3. Temperatur : berkaitan dengan viskositas air 4. Intensitas dan lamanya hujan 5. Sifat-sifat fisik tanah : distribusi ukuran pori (tergantung pada tekstur dan struktur)
8	Sosrodarsono dan Takeda (1987)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dalamnya genangan di atas permukaan tanah dan tebal lapisan yang jenuh 2. Kelembaban tanah 3. Pemampatan oleh curah hujan 4. Penyumbatan oleh bahan-bahan halus 5. Pemampatan oleh orang dan hewan 6. Struktur tanah 7. Tumbuh-tumbuhan 8. Udara yang terdapat dalam tanah 9. lain-lain : suhu tanah, efek pembekuan
9	Sri Harto (1993)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jenis tanah 2. Kepadatan tanah 3. Kelembaban tanah 4. Tutupan vegetasi lahan
10	Ward and Elliot (1995)	Lihat Gambar 2.7



Gambar 2.7 Faktor-faktor yang mempengaruhi pergerakan air ke dalam tanah (Sumber: Ward dan Elliot, 1995)

2.9 Konsep Neraca Air Model Konseptual

Terdapat banyak pemodelan hujan-debit yang dibangun dengan tujuan menyusun atau membentuk alat pengetahuan tentang proses atau sistem hidrologi. Demonstrasi pemahaman seperti itu merupakan suatu jalan yang penting dari pengembangan ilmu pengetahuan. Pengetahuan dapat diperoleh ketika suatu model atau teori tidak sesuai dengan data dapat dipercaya, sehingga beberapa modifikasi berdasarkan pemahaman atas model harus dicari. Bagaimanapun, batasan tujuan peramalan menggunakan model adalah harus dapat meningkatkan pengambilan keputusan tentang suatu masalah-masalah hidrologi, apakah hal tersebut perencanaan sumber daya air, perlindungan banjir, penanggulangan pencemaran, dan lain lain.

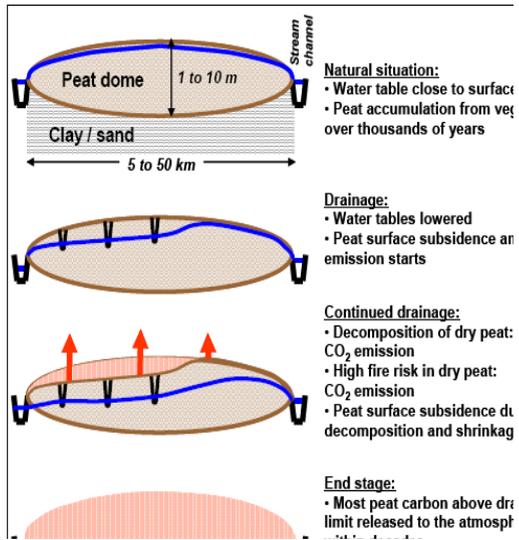
Pemodelan hujan-debit dapat dilakukan di dalam suatu kerangka kerja analitis berdasar pada pengamatan atas masukan dan keluaran pada suatu DAS (Daerah Aliran Sungai). DAS diperlakukan sebagai 'kotak hitam', tanpa referensi pada proses internal untuk kontrol tranformasi curah hujan menjadi limpasan. Beberapa model dikembangkan dengan cara ini, di mana ditunjukkan kemungkinan dibuat suatu penafsiran fisik dari model berdasar pada pemahaman terhadap tanggapan DAS. Pemahaman ini merupakan titik awal untuk pemodelan hujan-debit.

Ahli hidrologi yang mengembangkan metode rasional antara lain Dooge (1975) dan Hromadka-Whitley (1994) [lihat Beven (2001)], French et. al (1974), McDermott and Pilgrim (1982) [lihat Joko Sujono (1998)].

2.10 Over drained

Gambut mempunyai arti penting sehubungan dengan isu pemanasan global. Lahan gambut di Provinsi Riau termasuk di DAS Siak dieksploitasi melalui deforestasi, didrainase dan dikeringkan terutama untuk pengembangan kebun kelapa sawit. Sebagai akibat dari drainase yang berlebihan terjadi penurunan permukaan air tanah, dan ketebalan gambut mulai menipis melalui proses subsiden. Drainase mengubah suasana anaerobic menjadi aerobic, sehingga terjadi dekomposisi bahan organik dengan adanya proses oksidasi.

Apabila drainase dilanjutkan dengan memperdalam saluran, baik untuk pengeringan lahan perkebunan sawit maupun transportasi pupuk dan pemanenan tandan buah sawit mengakibatkan proses subsiden, kekeringan dan bahaya kebakaran, serta emisi karbon akan semakin meningkat. Demikian juga fungsi lahan gambut sebagai penahan air akan semakin berkurang yang akan meningkatkan bahaya banjir pada muara sungai.



Gambar 2.8 Ilustrasi proses emisi CO₂ dari lahan gambut yang didrainase (Hooijer, 2006)

Selain itu kualitas air di lahan ini juga menjadi lebih buruk karena proses *over drained* ini karena air tidak bergerak.

Dalam jangka panjang seluruh kubah gambut (peat dome) akan hilang, dan seluruh karbon dari lahan gambut teremis ke atmosfer.

2.11 Pengolahan Data Citra Satelit

Pengolahan data Citra Satelit Landsat dilakukan menggunakan alat bantu software GIS. Analisis dan interpretasi data Landsat terdiri atas pemotongan citra (cropping image), pemulihan citra, penajaman citra (image enhancement), koreksi geometrik, digitasi, dan tumpang-susun (overlay). Pemotongan citra (cropping image) dilakukan untuk mengambil fokus area penelitian dengan pertimbangan untuk penghematan memori penyimpanan dalam komputer. Pemulihan citra dilakukan untuk memperbaiki kualitas citra satelit yang kurang baik akibat dari kerusakan pada satelit atau karena adanya gangguan atmosfer. Pemulihan citra dilakukan dengan melakukan koreksi gapfill dan koreksi radiometrik. Penajaman citra (image enhancement) merupakan penggabungan band-band yang dibutuhkan untuk mempertegas antara batas darat dan air. Untuk Landsat-5 TM dan

Landsat-7 ETM+ band-band yang digabungkan adalah band 2, band 4, dan band 5. Penggabungan band-band ini dilakukan dengan komposit band (composite bands) dengan urutan band 542.

Koreksi geometrik pada citra Landsat merupakan upaya memperbaiki kesalahan perekaman secara geometrik agar citra yang dihasilkan mempunyai sistem koordinat dan skala yang seragam, dan dilakukan dengan cara translasi, rotasi, atau pergeseran skala. Data citra landsat yang didapatkan adalah data level 1 dalam format geotiff merupakan data citra landsat yang sudah terkoreksi geometriknnya sehingga tidak perlu dilakukan koreksi geometrik lagi.

2.11.1 Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik dilakukan agar informasi yang terdapat dalam data citra dapat dengan jelas dibaca dan diinterpretasikan. Kegiatan yang dilakukan dapat berupa :

1. Penggabungan data (data fusion) yaitu menggabungkan citra dari sumber yang berbeda pada area yang sama untuk membantu di dalam interpretasi,
2. Colodraping yaitu menempelkan satu jenis data citra di atas data yang lainnya untuk membuat suatu kombinasi tampilan sehingga memudahkan untuk menganalisa dua atau lebih variabel,
3. Penajaman kontras yaitu memperbaiki tampilan citra dengan memaksimumkan kontras antara pencahayaan dan penggelapan atau menaikkan dan merendahkan harga data suatu citra,
4. Filtering yaitu memperbaiki tampilan citra dengan mentransformasikan nilai-nilai digital citra, seperti mempertajam batas area yang mempunyai nilai digital yang sama (enhance edge), menghaluskan citra dari noise (smooth noise).

2.11.2 Kalibrasi Geometrik

Koreksi geometrik atau rektifikasi merupakan tahapan agar data citra dapat diproyeksikan sesuai dengan sistem koordinat yang digunakan. Acuan dari koreksi geometrik ini dapat berupa peta dasar ataupun data citra sebelumnya yang telah terkoreksi. Koreksi geometrik dilakukan dengan menggunakan acuan titik kontrol yang dikenal dengan Ground Control Point (GCP). Titik kontrol yang ditentukan merupakan titik-titik dari obyek yang bersifat permanen dan dapat

diidentifikasi di atas citra dan peta dasar/rujukan. GCP dapat berupa persilangan jalan, percabangan sungai, persilangan antara jalan dengan sungai (jembatan) atau objek lain.

2.11.3 Klasifikasi Multispektral (Image Classification)

Klasifikasi Multispektral merupakan sebuah algoritma yang digunakan untuk memperoleh informasi tematik dengan cara mengelompokkan suatu fenomena/ obyek berdasarkan kriteria tertentu. Asumsi awal yang harus diperhatikan sebelum melakukan klasifikasi multispektral adalah bahwa tiap obyek dapat dikenali dan dibedakan berdasarkan nilai spektralnya.

2.11.4 Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra satelit untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan, misalnya biomassa, Leaf Area Index (LAI), konsentrasi klorofil. Lebih praktis, indeks vegetasi adalah suatu transformasi matematis yang melibatkan beberapa saluran sekaligus untuk menghasilkan citra baru yang lebih representatif dalam menyajikan aspek-aspek yang berkaitan dengan vegetasi (Danoedoro, 1996).

2.12 Model Hidrologi

Pemodelan hidrologi merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan untuk memahami kompleksnya proses hidrologi dalam suatu DAS. Tujuan pemodelan hidrologi adalah untuk menggambarkan suatu sistem yang besar dan kompleks dengan cara yang lebih sederhana atau untuk memprediksikan kejadian-kejadian hidrologi ketika hubungan antar komponen sudah dibangun. Saat ini ada banyak jenis model hidrologi yang telah dikembangkan untuk merepresentasikan proses-proses hidrologi yang terjadi pada suatu DAS, mulai dari yang sangat sederhana yang membutuhkan input data yang sedikit sampai dengan model yang kompleks yang membutuhkan data yang relatif lebih banyak.

Model hidrologi secara umum bisa dikelompokkan menjadi dua, yaitu *Stochastic Models* dan *Process-Based Models*. *Stochastic Models* merupakan model kotak hitam (*black box systems*) yang

didasarkan pada data dan menggunakan konsep statistika dan matematika untuk menghubungkan data-data masukan (misalkan data hujan) terhadap *output* model (misalnya debit limpasan). Sedangkan *Process-Based Models* mempresentasikan proses-proses fisik hasil observasi dari dunia nyata seperti limpasan permukaan, aliran antara, evapotranspirasi, dan aliran sungai yang kompleks ke dalam model.

Model-model hidrologi yang ada sangat bervariasi tingkat kompleksitas dan luasan area aplikasi mulai dari skala cakupan DAS hingga skala model makro. Namun diantara model-model tersebut, yang hanya bisa digunakan untuk memodelkan perubahan iklim sekaligus memodelkan perubahan tata guna lahan adalah model SWAT, karena model ini mengakomodasi parameter iklim dan tata guna lahan sebagai data input. Untuk menggunakan model SWAT, dibutuhkan beberapa data input yang spesifik tentang kondisi iklim, propertis tanah, topografi, tutupan lahan, dan manajemen lahan.

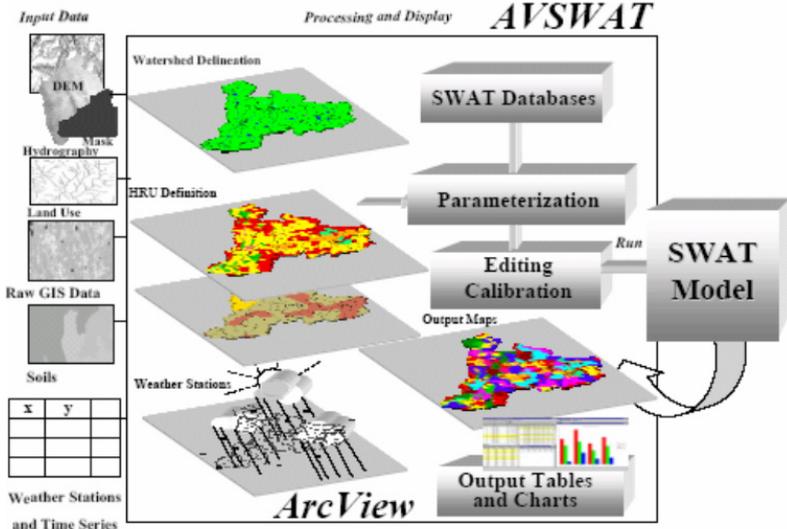
2.12.1 Model Hidrologi SWAT

Model SWAT merupakan *agro-hydrological watershed scale model* yang dikembangkan oleh *Agricultural Research Services of United States Department of Agriculture (USDA)*. Tujuan awal pengembangan model ini adalah untuk mensimulasikan dampak pengelolaan lahan terhadap aliran dan sedimentasi dalam suatu DAS yang tidak memiliki sistem pengamatan dan pencatatan data.

Akhir-akhir ini aplikasi model SWAT telah berkembang pesat dan sangat beragam mulai dari untuk simulasi dampak perubahan tata guna lahan (Khadka, dkk., 2013; Anwar, 2011), studi erosi lahan pada DAS (Glik, dkk., 2013; Guevara, dkk., 2011), simulasi dampak perubahan iklim (Gurung, dkk., 2013; Khoi, 2012; Ferijal, 2013), strategi adaptasi perubahan iklim (Solaymani, dkk., 2013), manajemen penggunaan air untuk irigasi (Gorantiwar, 2012), simulasi manajemen pengelolaan DAS (Sood, 2009; Yu, dkk., 2009; Yustika, dkk., 2012), hingga simulasi untuk memprediksikan produktifitas suatu lahan pertanian (Escudero, dkk., 2012).

SWAT merupakan suatu model yang mampu mensimulasikan parameter-parameter hidrologi dalam jangka panjang dengan mempertimbangkan karakteristik fisik suatu DAS. Model ini pada awalnya

ya membagi DAS menjadi beberapa SubDAS yang kemudian setiap SubDAS tersebut akan dibagi kembali menjadi beberapa unit respon hidrologi (*Hidrologic Response Unit*, HRU) berdasarkan tata guna lahan, jenis tanah dan kelas lereng. Dengan asumsi tidak ada hubungan antar HRU, model kemudian mensimulasikan proses hidrologi untuk setiap HRU menggunakan metode neraca air. Simulasi neraca air tersebut meliputi parameter-parameter seperti kandungan air tanah, limpasan permukaan, evapotranspirasi, perkolasi, dan aliran bawah permukaan tanah yang kembali ke sungai. Secara sederhana skema analisis hidrologi menggunakan model SWAT disajikan pada **gambar 2.9** berikut ini.



Gambar 2.9 Skema analisis hidrologi menggunakan SWAT
 Sumber : Penelitian Balitbang provinsi Riau, 2014

Salah satu tujuan utama model SWAT adalah untuk memprediksi pengaruh penerapan manajemen lahan terhadap kualitas dan kuantitas air sepanjang periode waktu pada suatu DAS yang mempunyai variasi jenis tanah, manajemen dan penggunaan lahan. Siklus hidrologi yang disimulasikan di dalam model SWAT didasarkan pada persamaan keseimbangan air (*water balance*) berikut ini.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})_i \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan :

t = waktu (hari),

SW_t = kandungan air tanah akhir (mm),

SW_o = kandungan air tanah awal (mm),

R_{day} = besarnya hujan pada hari ke- i (mm),

Q_{surf} = besarnya limpasan permukaan pada hari ke- i (mm),

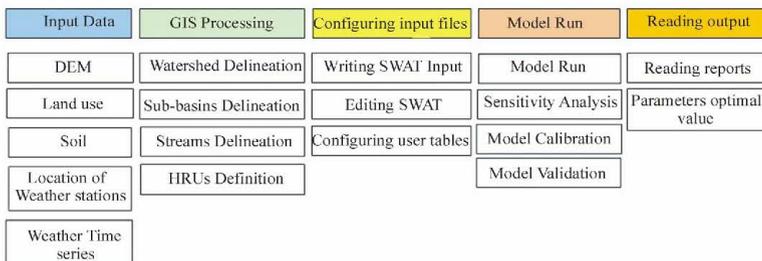
E_a = besarnya evaporasi pada hari ke- i (mm),

W_{seep} = besarnya air yang meresap ke vadose zone dari profil tanah pada hari ke- i (mm),

Q_{gw} = besarnya debit pada hari ke- i (mm).

Parameter *input* faktor iklim yang digunakan dalam SWAT adalah curah hujan harian, suhu udara maksimum dan minimum, data radiasi matahari, kelembaban relatif, dan data kecepatan angin yang dapat diambil dari catatan pengukuran atau data observasi. Kelembaban relatif dan kecepatan angin diperlukan jika menggunakan Penman-Monteith (Monteith1965) dalam menghitung evapotranspirasi yang terjadi. *Input* suhu maksimum dan minimum yang digunakan untuk memperhitungkan suhu tanah dan air harian.

Tahap pertama dalam pemodelan menggunakan SWAT adalah melakukan dilineasi DAS (*watershed delineation*) dan pembagian DAS menjadi sub-DAS berdasarkan data DEM. Masing-masing sub-DAS dibagi lagi menjadi area-area yang homogen yang disebut *hydrologicRespond Units* (HRUs) yang diturunkan dari GIS yang merupakan tumpang-susun terhadap data tanah, kemiringan, dan tata guna lahan. Pada **Gambar 2.10** di bawah ini ditunjukkan gambaran umum komponen-komponen yang ada dalam SWAT.



Gambar 2.10 Komponen-komponen dan data input/output untuk pemodelan menggunakan SWAT

Sumber : Penelitian Balitbang provinsi Riau, 2014

2.12.2 Runoff

SWAT menyediakan dua metode untuk memperkirakan limpasan permukaan yakni dengan metode SCS curve number procedure (SCS1972) dan metode infiltrasi (Green&Ampt1911). Persamaan SCS adalah model empiris yang mulai umum digunakan pada tahun 1950-an yang melibatkan hubungan antara hujan dan limpasan yang terjadi pada daerah aliran sungai pedesaan di seluruh Amerika Serikat. Model ini dikembangkan untuk memberikan dasar dalam memperkirakan jumlah limpasan dari berbagai penggunaan lahan dan jenis-jenis tanah. Persamaan SCS Curve Number adalah:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

Q_{surf} = akumulasi dari runoff ketika hujan (mm),

R_{day} = tinggi curah hujan dalam satu hari (mm),

I_a = inisial abstraksi termasuk simpanan permukaan, intersepsi, infiltrasi (mm),

S = parameter retensi(mm).

Parameter retensi nilai nya bervariasi dikarenakan perubahan tanah, penggunaan lahan, manajemen dan lereng dan terutama karena perubahan kadar air tanah. Parameter retensi didefinisikan sebagai:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana CN adalah nomor curva untuk hari tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.11**. Nilai I yang biasanya digunakan sebesar 0.2 S, sehingga persamaan

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \dots\dots\dots(2.9)$$

Metode Green & Ampt dikembangkan untuk memprediksi besarnya infiltrasi dengan asumsi kelebihan air di permukaan sepanjang waktu (Green & Ampt 1911). Persamaan ini mengasumsikan bahwa profil tanah homogen dan distribusi kelembaban tanah sebelumnya seragam. Laju infiltrasi Green-Ampt Mein-Larson didefinisikan sebagai :

$$f_{inf,t} = K_e \left(1 + \frac{\psi_{wf} \Delta \theta_v}{F_{inf,t}} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan :

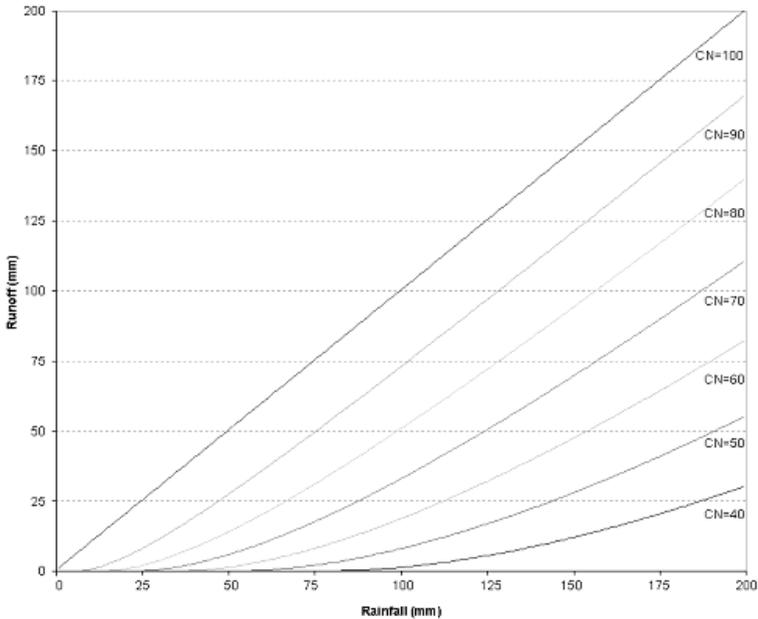
f_{inf} = laju infiltrasi pada saat(mm/jam),

K_e = konduktivitas hidrolik efektif(mm/jam),

ψ_{wf} =matrik potensial saat pembasahan(mm),

θ_v =perubahan volume kadar air tanah selama proses pembasahan(mm/mm)

F_{inf} =jumlah infiltrasi pada saat(mm).



Gambar 2.11 Hubungan antara *runoff* terhadap curah hujan pada metode SCS *curve number*(SCS 1972)
 Sumber :SWAT Manual

2.12.3 Evapotranspirasi

Analisis SWAT pada penentuan besarnya evapotranspirasi ditentukan dengan tiga metode yaitu metode Penman-Monteith, metode Priestley and Taylor (1972), serta metode Hargreaves (1975). Data kecepatan angin diperlukan oleh SWAT jika Metode Penman- Monteith (persamaan 2.11) digunakan untuk memperkirakan evapotranspirasi potensial. SWAT mengasumsikan informasi kecepatan angin berada pada posisi 1.7 meter diatas permukaan tanah. Kelembaban relatif diperlukan oleh SWAT jika metode Penman-Monteith atau per-

samaan Priestley-Taylor (persamaan 2.12) digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial. Hal ini juga digunakan untuk menghitung tekanan uap air minimum pada pertumbuhan tanaman. Pada persamaan Penman-Monteith pengaruh jumlah uap air diudara diperhitungkan dalam menentukan evaporasi permukaan. Penman-Monteith dan Priestley-Taylor memerlukan tekanan uap aktual, yang dihitung dari kelembaban relatif.

$$\lambda E = \frac{\Delta(H_{net} - G) + \rho_{air} c_p [e_z^0 - e_z] / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

- E = Laju evaporasi (ms^{-1})
- λE = Panas laten akibat densitas sinar matahari ($MJm^{-2}d^{-1}$)
- Δ = kemiringan pada kurva tekanan uap air jenuh-temperatur, de/dT (kPa^0C^{-1})
- H_{net} = Radiasi yang mengenai permukaan (Wm^{-2})
- G = Kerapatan fluks panas ke tanah ($MJm^{-2}d^{-1}$)
- c_p = Kapasitas panas spesifik dari udara ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
- ρ_{air} = Densitas udara (kgm^{-3})
- $\frac{e_z^0}{\sigma}$ = Tingkat tekanan uap air jenuh diudara pada ketinggian (kPa)
- e_z = Tekanan uap air diudara pada ketinggian (kPa)
- r_c = Resistensi dari kanopi tanaman (sm^{-1})
- g_s = Difusi resistensi lapisan udara atau *aerodynamic resistance* ($s m^{-1}$)
- γ = Konstanta Psychrometri ($\gamma \approx 66 PaK^{-1}$)

Priestley dan Taylor (1972) mengembangkan sebuah versi sederhana dari kombinasi persamaan untuk penggunaan di permukaan lahan basah. Komponen aerodinamik dihilangkan dan komponen energi dikalikan dengan suatu koefisien, $\alpha_{pet}=1,28$ ketika lingkungannya basah atau dibawah kondisi lembab.

$$\lambda E_o = \alpha_{pet} \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (H_{net} - G) \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana :

- λ = panas laten penguapan ($MJ kg^{-1}$),
- E_o = evapotranspirasi potensial (mmd^{-1}),
- α_{pet} = koefisien,
- Δ = kemiringan pada kurva tekanan uap udara jenuh dan suhu, de/dT (kPa^0C^{-1}),
- γ = psychrometric (KPa^0C^{-1}),
- H_{net} = radiasi bersih ($MJm^{-2}d^{-1}$),
- G = kerapatan fluks panas ditanah ($MJm^{-2}d^{-1}$).

Metode Hargreaves yang digunakan dalam SWAT diterbitkan pada tahun 1985 (Hargreaves *et al.*, 1985. dalam Neitsch *et al.*, 2005):

$$\lambda E_0 = 0.0023 H_0 (T_{mx} - T_{mn})^{0.5} \cdot (\bar{T}_{av} + 17.8) \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana :

- λ =panas laten penguapan(MJkg⁻¹),
- E_0 =evapotranspirasi potensial(mmd⁻¹),
- H_0 =extraterrestrial radiasi(MJm⁻²d⁻¹),
- T_{mx} =suhu udara maksimum pada hari tersebut(°C),
- T_{av} = suhu rata-rata 1 hari (°C).

2.12.4 Perkolasi

Perkolasi dihitung untuk setiap lapisan tanah dalam profil. Air akan meresap jika kadar air melebihi kadar air kapasitas lapangan untuk lapisan tersebut dan lapisan dibawahnya tidak dalam keadaan jenuh. Volume air yang tersedia untuk perkolasi kedalam lapisan tanah dihitung dengan persamaan:

$$SW_{ly,excess} = SW_{ly} - FC_{ly} \quad \text{jika } SW_{ly} > FC_{ly} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$SW_{ly,excess} = 0 \quad \text{jika } SW_{ly} \leq FC_{ly} \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana:

- $SW_{ly,excess}$ = volume air yang dapat dialirkan di tanah pada hari tertentu(mm),
- SW_{ly} = kadar air dari lapisan tanah pada hari tertentu (mm)
- FC_{ly} = kadar air dari lapisan tanah pada kapasitas lapang (mm).

2.12.5 GroundWater

Akuifer dangkal memberikan kontribusi aliran dasar kesaluran utama atau mencapai *subbasin*. Aliran dasar (*baseflow*) yang akan masuk sebagai debit jika jumlah air yang disimpan dalam akuifer dangkal melebihi nilai ambang batas yang ditentukan. Respon aliran air tanah pada kondisi *steady* untuk mengisi debit adalah

(Hooghoudt,1940):

$$Q_{gw} = \frac{8000K_{sat}}{L_{gw}^2} h_{wtbl} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan :

- Q_{gw} = aliran air tanah, atau base flow,kesaluran utama pada harii(mmH₂O),
- K_{sat} = konduktivitas hidrolik dari aquifer(mm/day),
- L_{gw} = jarak dari dari punggung bukit atau *subbasin* sistem air tanah kesaluran utama(m),
- h_{wtbl} = tinggi muka air tanah(m).

2.12.6 Kalibrasi model

Kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang diamati/diukur dengan hasil simulasi. Kalibrasi model dilakukan untuk mendapatkan kondisi yang adaptif di lapangan. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan data debit harian observasi dengan data simulasi selama periode waktu tertentu. Parameter-parameter hidrologi DAS yang perlu dikalibrasi dalam pemakaian Model SWAT adalah bilangan kurva aliran permukaan (CN), faktor alpha aliran dasar (ALPHA_BF), lama '*delay*' air bawah tanah (GW_DELAY), kedalaman minimum air pada perairan dangkal (GWQMN), koefisien revap air bawah tanah (GW_REVAP), fraksi perkolasi perairan dalam (RCHRG_DP), faktor evaporasi tanah (ESCO), faktor *uptake* tanaman (EPCO), nilai Manning untuk saluran utama (CH_N2), hantaran hidrolik pada saluran utama aluvium (CH_K2), faktor alpha aliran dasar untuk *bankstorage*(ALPHA_BNK) dan koefisien lag aliran permukaan (SURLAG) (Arnold, dkk., 2012).

Berdasarkan penelitian terdahulu didapatkan bahwa parameter-parameter yang sensitif terhadap perubahan debit yaitu CN2, ESCO, EPCO, GW_REVAP, GWQMN dan RCHRG_DP (Santhi dkk., 2001), sedangkan Reungsang dkk. (2006) mengemukakan bahwa parameter yang sensitif dalam melakukan perhitungan nilai debit adalah CN, SOL AWC, GW_DELAY, GW_Alfa dan SURLAG. Setiap daerah memiliki karakteristik tersendiri yang bervariasi.

2.12.7 Validasi model

Validasi adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi proses hidrologi (Santhi dkk., 2001). Langkah validasi bertujuan untuk membuktikan bahwa suatu proses/metode dapat memberikan hasil yang konsisten sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan data harian debit observasi dengan data harian debit simulasi pada periode waktu tertentu. Metode statistik yang digunakan dalam melakukan validasi adalah model koefisien determinasi (R^2) dan model efisien-

si Nash-Sutcliffe (*NS*). Persamaan model yang digunakan adalah persamaan (2.17) dan persamaan (2.18).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})(Q_{cal,i} - \bar{Q}_{cal,i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{cal,i} - \bar{Q}_{cal,i})^2}} \right]^2 \dots\dots\dots(2.17)$$

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{cal,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2} \right] \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan :

- $Q_{obs,i}$ = debit observasi (m^3/dt),
- $Q_{cal,i}$ = debit hasil simulasi (m^3/dt),
- $\bar{Q}_{obs,i}$ = debit observasi rata-rata (m^3/dt),
- $\bar{Q}_{cal,i}$ = debit simulasi rata-rata (m^3/dt).

Koefisien korelasi memiliki beberapa kriteria seperti pada **Tabel 2.3** berikut ini:

Tabel 2.3 Kriteria Nilai Koefisien Determinasi

Nilai Koefisien Determinasi (R^2)	Interpretasi
$0,7 < R^2 < 1,0$	Pengaruh tinggi
$0,4 < R^2 < 0,7$	Pengaruh sedang
$0,2 < R^2 < 0,4$	Pengaruh rendah
$R^2 < 0,2$	Diabaikan

(Sumber: Hambali, 2008)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Motovilov *et al* (1999), NSE memiliki beberapa kriteria seperti yang diperlihatkan pada **Tabel 2.4** berikut.

Tabel 2.4 Kriteria Nilai Nash-Sutcliffe *Efficiency* (NSE)

Nilai Nash-Sutcliffe <i>Efficiency</i> (NSE)	Interpretasi
NSE > 0,75	Baik
0,36 < NSE < 0,75	Memenuhi
NSE < 0,36	Tidak memenuhi

Sumber : Motovilov, *et al*(1999)

2.12.8 Prinsip-Prinsip Dasar Sistem Drainase Perkotaan

Seiring dengan pertumbuhan penduduk perkotaan yang amat pesat di Indonesia, permasalahan drainase semakin meningkat pula pada umumnya melampaui kemampuan penyediaan prasarana dan sarana perkotaan. Akibatnya permasalahan banjir atau genangan semakin meningkat pula. Pada umumnya penanganan sistem drainase di banyak kota di Indonesia masih bersifat parsial, sehingga tidak menyelesaikan permasalahan banjir dan genangan secara tuntas. Pengelolaan drainase perkotaan harus dilaksanakan secara menyeluruh, mengacu pada SIDLACOM dimulai dari tahap Survey, Investigation (investigasi), Design (perencanaan), Land Acquisition (pembebasan lahan), Construction (konstruksi), Operation (operasi) dan Maintenance (pemeliharaan), serta ditunjang dengan peningkatan kelembagaan, pembiayaan serta partisipasimasyarakat. Peningkatan pemahaman mengenai sistem drainase kepada pihak yang terlibat baik pelaksana maupun masyarakat perlu dilakukan secara berkesinambungan. Agar penanganan permasalahan sistem drainase dapat dilakukan secara terus menerus dengan sebaik-baiknya.

Drainase Berwawasan Lingkungan

Adalah pengelolaan drainase yang tidak menimbulkan dampak yang merugikan bagi

lingkungan. Terdapat 2 (dua) pola yang umum dipakai untuk mengelola drainase yang berwawasan lingkungan:

- a. Pola detensi (menampung air sementara), misalnya dengan membuat kolam penampungan _ kolam detensi.

- b. Pola retensi (meresapkan), antara lain dengan membuat sumur resapan, saluran resapan, bidang resapan atau kolam resapan _ kolam retensi.

Sungai adalah alur di permukaan tanah tempat mengalirnya aliran permukaan yang mempunyai Daerah Aliran Sungai (DAS), yang mengalir dari tempat yang tinggi menuju ke muara laut. Sungai mengalirkan sebagian air sebagai aliran dasar (base flow) dari kumpulan mata-air di dalam DAS-nya mulai dari daerah pegunungan sampai ke pantai (laut).

Satuan Wilayah Sungai adalah hamparan permukaan bumi yang dialiri oleh sungai yang ditetapkan dengan peraturan.

Sungai dan Saluran

Adalah alur tempat mengalirnya air di bidang permukaan tanah atau di bawah permukaan tanah.

- a. Sungai terjadi karena peristiwa alam dimana aliran air mengalir sesuai dengan morfologinya dan secara umum alirannya adalah aliran unsteady flow (aliran yang tidak tetap).
- b. Sedangkan saluran adalah alur tempat aliran air yang sengaja dibuat oleh manusia, secara umum alirannya adalah aliran steady flow (aliran tetap).

Sistem Drainase Perkotaan

Dapat ditinjau dari 2 sisi berikut:

- a. Satuan Wilayah Sungai adalah kumpulan anak-anak sungai yang berada di dalam Satuan Wilayah Sungai yang tergolong mikro pada orde sungai tingkat 2 atau 3 yang sepenuhnya berada di dalam batas administratif Perkotaan.
- b. Administratif Perkotaan adalah kumpulan jaringan anak-anak sungai dan saluran pada masing-masing Daerah Alirannya dimana penanganannya menjadi kewenangan Pemerintahan Kabupaten atau Pemerintahan Kota sekalipun sebagai ibukota Provinsi.

Pengendalian Banjir (*Flood Control*)

Dapat dibagi ke dalam 2 areal berikut:

- a. Untuk areal urban adalah upaya untuk mengendalikan aliran banjir pada sungai yang melintasi kota agar muka air banjir tidak

melampau tanggul kanan dan tanggul kirinya (overtopping) yang akan menyebabkan banjir/genangan di dalam kota.

- b. Untuk Daerah Aliran Sungai adalah upaya untuk menghindari terjadinya banjir pada lahan-lahan produktif.

Badan Air

Adalah tempat pengolahan air yang terakhir, yang dapat melakukan proses self purification (memperbaiki diri sendiri). Dapat berupa sungai, danau, rawa dan laut yang menerima aliran dari sistem drainase perkotaan.

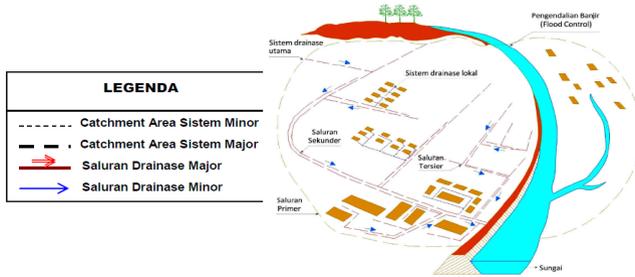
Fungsi Drainase Perkotaan

- a. Mengeringkan bagian wilayah kota yang permukaan lahannya lebih rendah dari genangan sehingga tidak menimbulkan dampak negatif berupa kerusakan infrastruktur kota dan harta benda milik masyarakat.
- b. Mengalirkan kelebihan air permukaan ke badan air terdekat secepatnya agar tidak membanjiri atau menggenangi kota yang dapat merusak selain harta benda masyarakat juga infrastruktur perkotaan.
- c. Mengendalikan sebagian air permukaan akibat hujan yang dapat dimanfaatkan untuk persediaan air dan kehidupan akuatik.
- d. Meresapkan air permukaan untuk menjaga kelestarian air tanah.

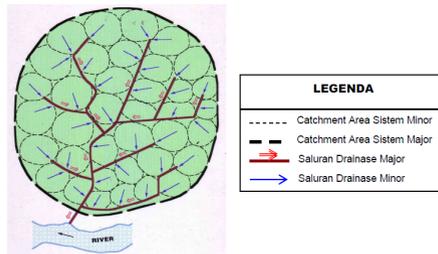
Berdasarkan pembagian kewenangannya pengelolaan dan fungsi pelayanan untuk sistem drainase perkotaan menggunakan istilah sebagai berikut:

Sistem Drainase Lokal (*Minor Urban Drainage*)

Sistem drainase lokal (*minor*) adalah suatu jaringan sistem drainase yang melayani suatu kawasan kota tertentu seperti kompleks permukiman, daerah komersial, perkantoran dan kawasan industri, pasar dan kawasan pariwisata. Sistem ini melayani area sekitar kurang lebih 10 Ha. Pengelolaan sistem drainase lokal menjadi tanggungjawab masyarakat, pengembang atau instansi pada kawasan masing-masing (lihat **Gambar 2.12** dan **Gambar 2.13**).



Gambar 2.12 Lay out umum Sistem Drainase Perkotaan



Gambar 2.13 Skematik Lay out Drainase Minor dan Mayor Drainase Perkotaan

Sistem Drainase Utama (*Major Urban Drainage*)

Sistem Jaringan Utama (*major urban drainage*) adalah sistem jaringan drainase yang secara struktur terdiri dari saluran primer yang menampung aliran dari saluran-saluran sekunder.

Saluran sekunder menampung aliran dari saluran-saluran tersier. Saluran tersier menampung aliran dari Daerah Alirannya masing-masing. Jaringan drainase lokal dapat langsung mengalirkan alirannya ke saluran primer, sekunder maupun tersier.

Pengendalian Banjir (*Flood Control*)

Pengendalian Banjir adalah upaya mengendalikan aliran permukaan dalam sungai maupun dalam badan air yang lainnya agar tidak meluap serta limpas atau menggenangi daerah perkotaan. Pengendalian banjir merupakan tanggung jawab pemerintah Propinsi atau Pemerintah Pusat. Konstruksi atau bangunan air pada sistem *flood control* antara lain berupa:

- Tanggul
- Bangunan Bagi

- Pintu Air
- Saluran Flood Way

Berdasarkan fisiknya, sistem drainase terdiri atas saluran primer, sekunder, tersier sebagai berikut:

Sistem Saluran Primer

Saluran primer adalah saluran yang menerima masukan aliran dari saluran-saluran sekunder. Saluran primer relatif besar sebab letak saluran paling hilir. Aliran dari saluran primer langsung dialirkan ke badan air.

Sistem Saluran Sekunder

Saluran terbuka atau tertutup yang berfungsi menerima aliran air dari saluran-saluran tersier dan meneruskan aliran ke saluran primer.

Sistem Saluran Tersier

Saluran drainase yang menerima aliran air langsung dari saluran-saluran pembuangan rumahrumah. Umumnya saluran tersier ini adalah saluran kiri kanan jalan perumahan. Untuk Kota-kota air seperti Palembang, Banjarmasin dan Pontianak agak sulit menentukan dan membedakan mana sungai dan saluran drainase. Sebab aliran yang dipengaruhi pasang laut yang tinggi terkadang berputar arah alirannya.

2.13 Tingkat Bahaya Kebakaran (Fire Danger Rating System, FDRS) untuk Asia Tenggara

Pada 1997-1998, kebakaran hutan yang luas di Sumatera dan Kalimantan menyebabkan terganggunya aktifitas di Indonesia dan negara yang berada di Asia Tenggara (ASEAN). Kebakaran hutan ini secara signifikan mempengaruhi industry pariwisata, kesehatan penduduk dan lingkungan. Total kerugian di tahun 1998 diperkirakan mencapai US \$ 9 miliar. Menanggapi bencana lingkungan ini, Menteri Lingkungan Hidup se ASEAN memulai Rencana Aksi Daerah Asap. Sebagai bagian dari Rencana Aksi ini, pemantauan dan peringatan system kebakaran hutan / vegetasi perlu dikembangkan dan di implementasikan. Peringkatan bahaya kebakaran diadopsi dari

Canadian Forest Fire Danger Rating System. Sejak tahun 1998 ASEAN *Fire Danger Rating System* (FDRS) kemudian dikembangkan dan di implementasikan, termasuk di Indonesia.

FDRS adalah sistem yang memonitor risiko kebakaran hutan / vegetasi dan menyediakan informasi yang membantu dalam pengelolaan kebakaran. Produk FDRS dapat digunakan untuk memprediksi perilaku api dan dapat digunakan sebagai panduan bagi para pembuat kebijakan dalam mengembangkan tindakan untuk melindungi kehidupan, property dan lingkungan.

➤ **Tujuan dari diselenggarakannya implementasi *Fire Danger Rating System* (FDRS) ini antara lain :**

1. Memiliki kemampuan teknis dan infrastruktur informasi yang memadai untuk mendukung pengambilan keputusan mengenai penanganan kebakaran hutan baik dalam skala lokal, nasional, dan regional.
2. Bisa meningkatkan koordinasi yang terpadu antar institusi-institusi yang berkaitan dengan penanganan kebakaran hutan dan efek kebakaran pada lingkungan.
3. Memiliki ilmuwan, profesional, dan stafteknis yang terlatih pada institusi terkait dalam mengaplikasikan teknologi informasi khususnya untuk kebakaran hutan

➤ **Sasaran di diselenggarakannya implementasi FDRS ini, antara lain:**

Beroperasinya FDRS secara berkesinambungan sesuai dengan kebutuhan masyarakat pengguna, baik di tingkat regional, nasional, dan daerah.

➤ **Ruang lingkup diselenggarakannya implementasi FDRS ini, antara lain:**

Adaptasi

Mengkalibrasi dan menyesuaikan kanasumsi dan parameter yang digunakan oleh FDRS dari kondisi di Kanada (sub-tropis) ke kondisi di Indonesia (tropis)

Operasionalisasi dan Kestinambungan

Merupakan proses *alih teknologi* melalui pelatihan untuk meningkatkan kemampuan dan melalui program kerjasama antar lembaga

Penerapan dan Pemasyarakatan

Ditekankan di kegiatan pendidikan dan peragaan untuk lebih memahami keberadaan FDRS

Penyusunan Sistem Regional

Merupakan kerjasama yang terarah untuk memperkuat pengembangan teknis, koordinasi, pengelolaan dan integrasi system kebakaran di wilayah Asia Tenggara.

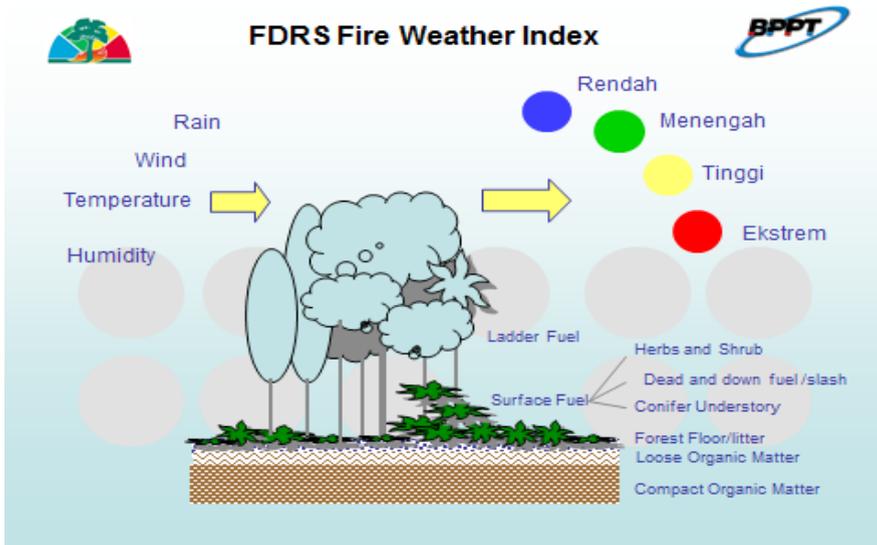
➤ Strategi dan beberapa hal yang melatar belakangi

Strategi penanggulangan terjadinya kebakaran hutan dan lahan dengan menggunakan system FDRS, telah di buat di tingkat nasional dengan fokus daerah rawan kebakaran di Kalimantan dan Sumatera (**Gambar 2.14**)



Gambar 2.14 Strategi Penggunaan system FDRS

Sistem FDRS dipengaruhi oleh bermacam-macam faktor fisik lingkungan antara lain, curah hujan, kecepatan angin, suhu, dan kelembaban udara. Keempat parameter tersebut digunakan dalam mendeteksi tingkat bahaya kebakaran hutan dan lahan yang ditunjukkan dengan indikator warna (**gambar 2.15**).



Gambar 2.15 Indeks FDRS

FDRS ini sangat berhubungan dengan kondisi cuaca (fire weather index, FWI). Hal ini dibahas dalam sub bab FWI.

➤ **FDRS Indonesian On-line** (www.fdrs.or.id)

FDRS di Indonesia dapat di akses melalui online. Penggunaan system FDRS ini dapat membantu menentukan wilayah Indonesia yang mempunyai tingkat kerawanan tinggi terjadinya kebakaran hutan dan lahan (**Gambar 2.16**)



Gambar 2.16 Peta tingkat rawan kebakaran di Indonesia dengan menggunakan FDRS, Sumber: quoted from Agus Kristijono presentation, 2014

Fire Danger Rating System (FDRS) adalah sistem yang memonitor risiko kebakaran hutan / vegetasi dan menyediakan informasi yang membantu dalam pengendalian kebakaran. Produk FDRS dapat digunakan untuk memprediksi perilaku api dan dapat digunakan sebagai panduan bagi para pembuat kebijakan dalam mengembangkan upaya untuk melindungi kehidupan, harta benda dan lingkungan.

2.14. Indeks Api Cuaca (Fire Weather Index, FWI)

a. Pendahuluan tentang *Fire Weather Index* (FWI)

FWI merupakan peringkat numerik dari intensitas kebakaran. Indeks ini secara umum dapat disebut sebagai indeks bahaya kebakaran ditinjau dari segi cuaca. Bahaya Kebakaran adalah indikasi umum dari semua faktor yang mempengaruhi kemudahan terbakar, penyebaran api, dampak fisik kebakaran dan tingkat kesulitan pengendalian kebakaran. Kode ini digunakan sebagai indikator prakiraan kesulitan pengendalian kebakaran. Fungsi utama dari FWI (*Fire Weather Index*) adalah untuk menghitung pengaruh cuaca terhadap bahan bakar hutan dan kebakaran hutan. Kegunaan lain dari FWI (*Fire Weather Index*) yaitu untuk mengevaluasi bahaya kebakaran sebagai fungsi dari kondisi cuaca sekarang dan yang lalu.

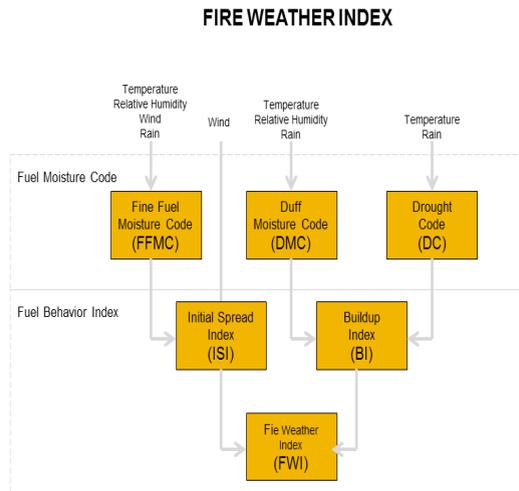
Tabel 2.5 . Kegunaan FWI Untuk Peringatan Dini dan Penanggulangan Kebakaran

Kegunaan FWI Untuk Peringatan Dini dan Penanggulangan Kebakaran		
Kelas	Karakteristik Kebakaran	Tingkat Kesulitan Pemadam Kebakaran
Rendah 0 - 1 	Bahan bakar mengandung cukup kadar air untuk mencegah penjarangan api	Kebakaran dapat dikendalikan dengan peralatan sederhana
Menengah 1 - 6 	Kebakaran di permukaan akan menyebar	Kebakaran dapat dikendalikan dengan peralatan sederhana dan habisnya kadar air dalam bahan bakar
Tinggi 6 -13 	Bahan bakar sangat kering dan mudah tersulut api. Kebakaran akan menyebar secara luas dan menghasilkan panas dan asap	kebakaran sukar dikendalikan. Pompa air dan alat berat (seperti peralatan konstruksi jalan) dibutuhkan
Ekstrim >13 	Kebakaran akan menyebar secara cepat dan menghasilkan panas dan banyak asap	Kebakaran sukar dikendalikan. Patroli harus memantau kebakaran dan memadamkan api secepat mungkin. Pembersihan sisa kebakaran secepatnya dibersihkan

Sumber :BMKG, 2012

Sistem FWI (*Fire Weather Index*) dirancang untuk menghasilkan jumlah informasi yang maksimum dengan jumlah data harian atau antar jam yang minimum. FWI (*Fire Weather Index*) juga memiliki rancangan dimana komponen-komponennya dapat digunakan baik secara individu maupun dikombinasikan untuk keluaran sistem. Sistem FWI (*Fire Weather Index*) terdiri dari enam komponen yaitu tiga komponen berupa kode kelembaban bahan bakar FFMCI (*Fine*

Fuel Moisture Code), *DMC (Drought Moisture Code)* dan *DC (Drought Code)*. Dan tiga lainnya berupa indeks perilaku kebakaran yang menggambarkan laju penyebaran, konsumsi bahan bakar dan intensitas kebakaran. Tiap-tiap komponen memiliki nilai dengan skala masing-masing. (Gambar 2.17).



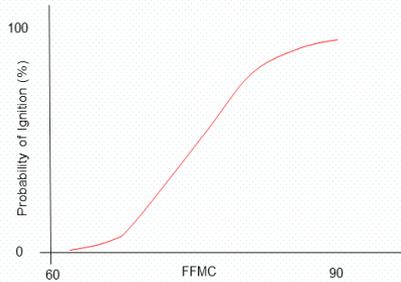
Gambar 2.17 Skema Fire Weather Index (FWI)
 Sumber : Canadian Forest Fire Weather Index System, 1998.

b. FFMC (Fine Fuel Moisture Code)

Merupakan peringkat numerik dari kandungan kelembaban dari serasah dan bahan bakar halus lainnya. Kode ini menandakan kemudahan relatif mulainya api dan terbakarnya. Kode ini berkorelasi dengan kejadian-kejadian kebakaran yang disebabkan manusia. Kode ini digunakan untuk indikator potensi penyulutan api menjadi kebakaran. Peringkat FFMC tinggi biasanya terjadi pada rerumputan dan bahan bakaran halus lainnya yang kering/mati dan terdapat pada wilayah terbuka. (Dapat dilihat Gambar 2.18.)

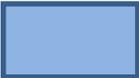
Fine Fuel Moisture Code (FFMC)

- Numerical rating representing 1-2 cm fine fuel
- Typical fuel loading 5 ton/hectare
- Affected by wind speed, temperature, humidity, and rain
- Timelag 2/3 day
- Indicator of ignition probability
- Fire starts at FFMC=70
- Rule of thumb: $FFMC = 101 - \text{moisture content}$



Gambar 2.18 Kurva Penyulutan Api Kelas Fine Fuel Moisture Code (FFMC)
 Sumber : BMKG, 2012

Tabel 2.6. Potensi Tingkat Kemudahan Penyulutan Api dan Kelas FFMC

Potensi Tingkat Kemudahan Penyulutan Api dan Kelas FFMC		
Kelas	Nilai FFMC	Interpretasi
 Rendah	0 – 36	Kemungkinan terpicu api sangat rendah
 Sedang	36 – 69	Kemungkinan api terpicu pada daerah kering dan terisolasi sangat rendah
 Tinggi	69 – 83	Bahan bakar halus (seperti alang – alang) sangat mudah terpicu api. Kemungkinan terpicunya api cukup tinggi.

 <p>Ekstrim</p>	<p>83 +</p>	<p>Bahan bakar halus sangat mudah terpicu api. Kemungkinan terpicunya api sangat tinggi.</p>
--	-------------	--

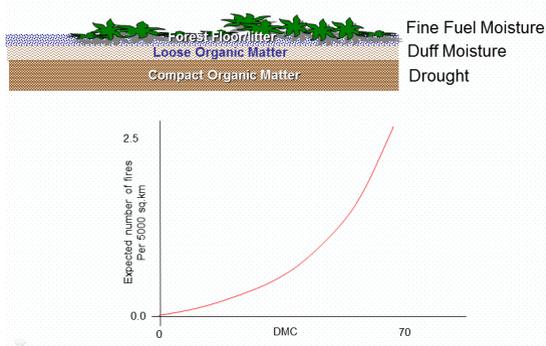
Sumber : BMKG, 2012



Gambar 2.19 Fine Fuel di lahan gambut lokasi desa Tanjung Leban Kec. Bukit Batu
Sumber : Survey Lapangan 04 Maret 2015

c. DMC (Duff Moisture Code)

Merupakan peringkat numerik dari kelembaban rata-rata dari lapisan tanah organik yang tidak padat dengan kedalaman sedang. Kode ini memberikan indikasi konsumsi bahan bakar pada lapisan humus sedang dan materi berkayu berukuran sedang. (Gambar 2.20)



Gambar 2.20 Kurva Peringkat Kelembaban Duff Moisture Code (DMC)
Sumber : BMKG, 2012



Gambar 2.21 Lapisan Humus Sedang (Materi berkayu) lokasi desa Tanjung Leban Kec. Bukit Batu. Sumber : Survey Lapangan 04 Maret 2015

d. DC (Drought Code)

Merupakan peringkat numerik dari kandungan kelembaban dari lapisan tanah organik yang padat. Kode ini adalah indikator penting dari dampak kemarau musiman pada bahan bakar hutan, dan banyaknya nyala bara api dalam lapisan organik yang dalam dan bongkahan kayu besar. Kode ini digunakan sebagai indikator potensi membaranya api dalam suatu kebakaran dan potensi terjadinya kabut asap. Perangkat DC yang tinggi biasanya terjadi pada kebakaran lahan gambut. Parameter dari Drought Code adalah Temperatur dan kadar Hujan.

Tabel 2.7. Potensi Kekeringan dan Asap dan Kela DC

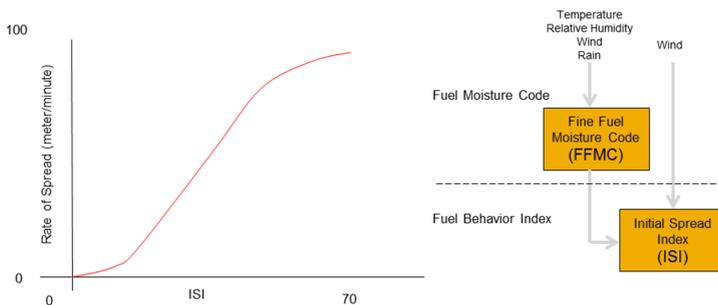
Potensi Kekeringan dan Asap dan Kela DC		
Kelas	Nilai FFMC	Interpretasi
 Rendah	<200	Kondisi Musim Basah. Kabut asap tidak terjadi
 Sedang	200 - 300	Kondisi normal pertengahan musim kering. Pembakaran harus dipantau

 Tinggi	300 - 400	Kondisi normal puncak musim kering seluruh pembakaran di atas lahan gambut. dilarang
 Ekstrim	400+	Kondisi bahaya keke- ringan. Pembakaran sepenuhnya dilarang.

Sumber : BMKG, 2012

2.14.2 ISI (Initial Spread Index)

ISI Merupakan peringkat numerik dari tingkat penyebaran api yang diharapkan. ISI (Initial Spread Index) menggabungkan akibat angin dan FFMC (Fine Fuel Moisture Code) pada tingkat penyebaran tanpa pengaruh kuantitas variabel bahan bakar. Kode ini menunjukkan bagaimana kebakaran akan menjalar/merambat setelah penyulutan api. (Lihat Gambar 11)

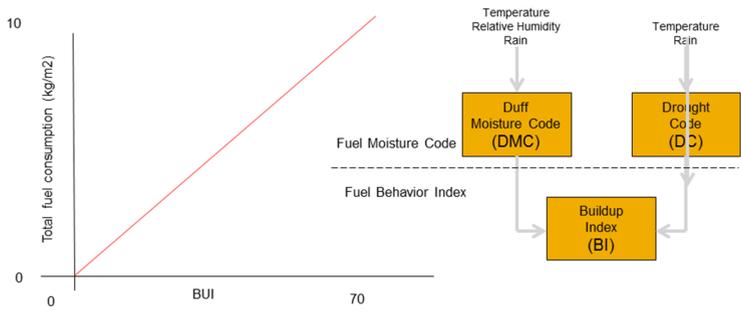


Gambar 2.22 Kurva Peringkat Penyebaran Api ISI

Sumber : BMKG, 2012

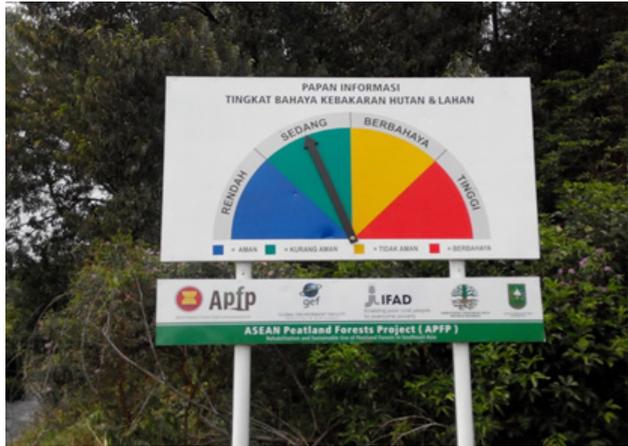
2.15. BUI (Buildup Index)

Merupakan peringkat numerik dari tingkat bahan bakar yang akan dikonsumsi dan merupakan kombinasi dari DMC (Duff Moisture Code) dan DC (Drought Code). (Gambar 2.23).



Gambar 2.23 Kurva Tingkat Bahan Bahan Bakar yang Akan Dikonsumsi BUI
 Sumber : BMKG, 2012

Semakin tinggi BUI maka semakin banyak bahan bakar (lahan/vegetasi/humus) yang terbakar (kg/m²).



BAB III METODOLOGI

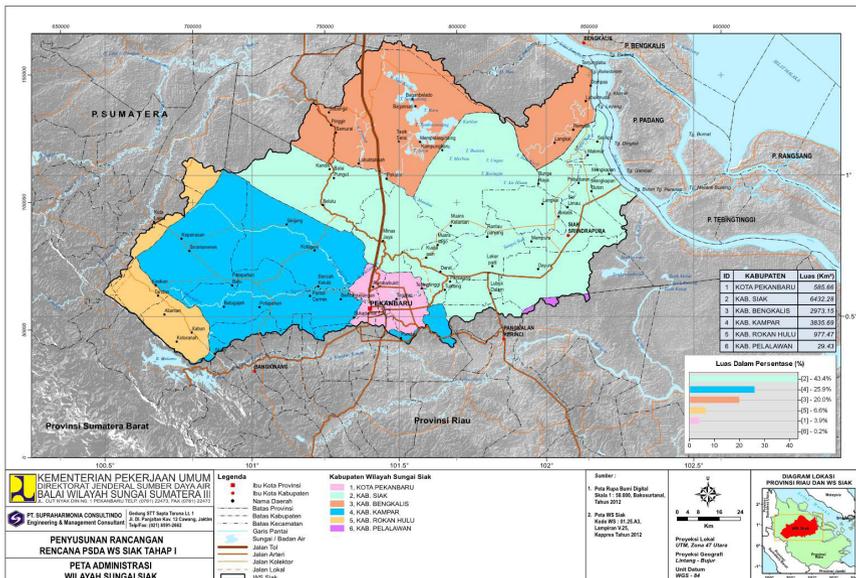
Lokasi penelitian mitigasi banjir dan kabut asap ini di fokuskan pada daerah aliran sungai (DAS) Siak, Provinsi Riau. Penelitian tentang banjir meninjau lokasi di DAS Siak dengan stasiun AWLR Pantai Cermin, Kabupaten Kampar dengan letak geografis $00^{\circ} 35' 24''$ LS dan $101^{\circ} 11' 46''$ BT. Lokasi tersebut dipilih berdasarkan ketersediaan data yang cukup memadai untuk dilakukan analisis hidrologi. Sedangkan penelitian tentang kabut asap difokuskan di kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau yang lokasinya masih berada di DAS Siak. Hal ini disebabkan kejadian kebakaran lahan gambut terbesar pada tahun 2014 terjadi di kabupaten Bengkalis ini.

3.1. Lokasi Tinjauan Penelitian Hidrologi DAS

Lokasi penelitian berada di daerah Aliran Sungai Siak terletak di Provinsi Riau dengan luas wilayah 1.131.218,44 ha yang membentang dari hulunya di perbukitan Kubu Beringin dan Bukit Suligi-Bukit Pandan di Kabupaten Rokan Hulu hingga hilirnya bermuara di Selat Malaka yang berada di Kabupaten Siak. Secara geografis DAS Siak be-

rada pada posisi antara 100°28' BT – 102°12' BT dan 0°20' LU – 1°16' LU. Batas DAS Siak meliputi:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kab. Rokan Hulu, Kab. Siak dan Kab. Bengkalis.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kab. Siak dan Selat Malaka.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kab. Kampar dan Kab. Siak.
- Sebelah Barat berbatasan dengan Kab. Rokan Hulu.



Gambar 3.1. Peta Administrasi WS Siak

Sungai Siak merupakan salah satu sungai besar di Provinsi Riau yang secara administrasi seluruh segmennya yaitu hulu, tengah dan hilir sungai berada di wilayah administrasi Provinsi Riau. Hal ini merupakan keuntungan bagi pemerintah provinsi dimana dalam menyusun rencana penataan dan pengelolaan sungai tersebut tidak perlu berkoordinasi dengan pemerintahan provinsi lain. Namun demikian berdasarkan wilayah administrasi kabupaten Sungai Siak melintasi 4 kabupaten dan 1 kota yaitu Kabupaten Rokan Hulu, Kabupaten Kampar, Kabupaten Bengkalis, Kabupaten Siak dan Kota Pekanbaru. Beberapa kecamatan yang masuk ke dalam WS Siak dari masing-masing kabupaten dan kota dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1. Pembagian Wilayah DAS berdasarkan Wilayah Administrasi

KABUPATEN/KOTA/KECAMATAN	LUAS	
	Ha	%
01. Kabupaten Rokan Hulu	148.033,30	8,10
« Kecamatan Kunto Darussalam		
« Kecamatan Rokan IV Koto		
« Kecamatan Tandun		
« Kecamatan Kabun		
02. Kabupaten Kampar	329.861,51	29,10
« Bangkinang Kecamatan		
« Kecamatan Bangkinang Barat		
« Kecamatan Kampar		
« Kecamatan Tambang		
« Kecamatan Tapung		
« Kecamatan Tapung Hulu		
« Kecamatan Tapung Hilir		
« Kecamatan XIII Koto Kampar		
03. Kabupaten Bengkalis	92.355,42	13,00
« Kecamatan Mandau		
« Kecamatan Bukit Batu		
04. Kota Pekanbaru	65.653,84	5,80
« Kecamatan Tampan		
« Kecamatan Bukit Raya		
« Kecamatan Lima Puluh		
« Kecamatan Sail		
« Kecamatan Pekanbaru Kota		
« Kecamatan Sukajadi		
« Kecamatan Senapelan		
« Kecamatan Rumbai		
05. Kabupaten Siak	496.871,97	43,80
« Kecamatan Kandis		

KABUPATEN/KOTA/KECAMATAN	LUAS	
	Ha	%
« Kecamatan Minas		
« Kecamatan Tualang		
« Kecamatan Lubuk Dalam		
« Kecamatan Kerinci Kanan		
« Kecamatan Sungai Mandau		
« Kecamatan Koto Gasib		
« Kecamatan Dayun		
« Kecamatan Siak		
« Kecamatan Bunga Raya		
« Kecamatan Sei Apit		
JUMLAH	1.132.776,04	100,0

Sumber: Laporan Pola WS Siak 2006

3.2 Teknik pengumpulan data

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan survey terhadap kondisi ketersediaan air tanah dengan populasi penelitian seluruhnya dilakukan di DAS Siak.

Penentuan titik sample dalam penelitian ini diambil dengan membuat *land unit* berdasarkan beberapa parameter, yaitu :

- Jenis Tanah (Gambut dan Mineral), diperoleh berdasarkan peta satuan tanah,
- Kemiringan Lahan (dengan melakukan analisis peta topografi dan data sekunder) diambil 2 (dua) kemiringan (0-15%, dan >15%).
- Jenis Tutupan Lahan (diperoleh dari hasil penafsiran citra landsat 7 atau 8 ETM+ hasil perekaman tahun 2013, serta peta lain yang relevan seperti peta penggunaan lahan RePPPProT).

Adapun rancangan pembagian kriteria dan jumlah sampel adalah sebagai berikut:

Usia tanaman dibagi atas 2 kriteria; (i) tanamana belum menghasilkan (TBM); dan (ii) tanaman menghasilkan (TM1) umur sekitar 10 tahun keatas tahun setelah tajuk bertemu.

Kontrol dibagi 2 yaitu; HTI dan perkebunan karet.

Tinjauan di bagian hulu DAS Siak dengan estimasi total sampel sebagai berikut:

Tabel 3. 2. Demplot Survey Lapangan

Tanaman	Jenis Tanah		
	Mineral kemiringan 0-15%	Mineral kemiringan >15%	Gambut
HTI (sebagai kontrol)	1 lokasi	1 lokasi	1 lokasi
Sawit 1 (Tanaman Belum Menghasilkan)	1 lokasi	1 lokasi	1 lokasi
Sawit 2 (Tanaman Menghasilkan)	1 lokasi	1 lokasi	1 lokasi
Jumlah	3 lokasi	3 lokasi	3 lokasi

3.2.1 Laju Infiltrasi

Laju infiltrasi diukur dengan menggunakan *double ring infiltrometer* yang di tempatkan pada tanah yang telah dibersihkan. Ring dipukul dengan menggunakan pemukul namun ketika memukul perlu diperhatikan permukaan ring sehingga ring tidak miring. Pengukuran laju infiltrasi dilakukan dengan mengisi kedua ring dengan air kurang lebih 20 cm. Laju infiltrasi yang dihitung adalah pada ring bagian dalam. Waktu yang diperlukan oleh muka air untuk turun dicatat dengan *stop watch*. Tinggi muka air dihitung mulai dari menit pertama sampai pada menit penurunan air konstan. Air dituangkan kembali secepatnya apabila tingkat air telah mencapai 10 cm, dan dicatat tinggi air sebelum dan sesudah diisi pada setiap kejadian. Hal tersebut dilakukan untuk setiap kelas umur tegakan kelapa sawit. Pengukuran infiltrasi pada alat *double ring infiltrometer* seperti yang disajikan pada **Gambar 3.4.**



Gambar 3.2 Pengukuran Infiltrasi

a. Pengambilan Contoh Tanah

Contoh tanah diambil setelah pengukuran infiltrasi selesai dilakukan dari dalam *ring infiltrometer*. Tanah diambil dengan kedalaman 0 – 20 cm dari setiap kelas umur yang diukur.

b. Pengolahan Data

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, laju infiltrasi dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$f = \frac{\Delta H}{t} \times 60 \text{ (cm/jam)}$$

Keterangan :

f : Laju infiltrasi (cm/jam)

ΔH : Tinggi penurunan air dalam selang waktu tertentu (cm)

t : Selang waktu yang dibutuhkan oleh air pada ΔH untuk masuk ke tanah(menit)

a. Lapisan Tanah

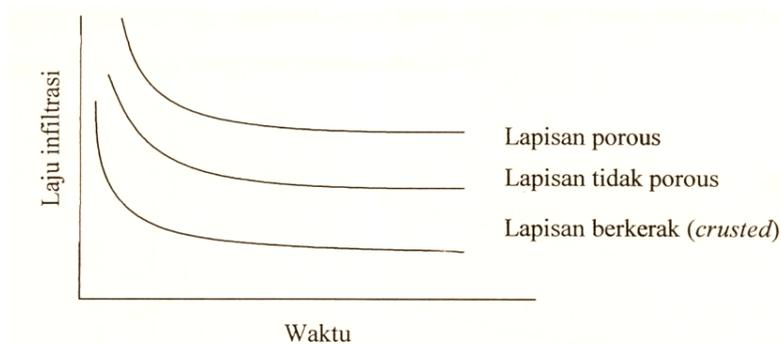
Laju infiltrasi pada tanah yang porous lebih tinggi dibandingkan dengan laju infiltrasi pada lapisan tanah yang tidak porous. Hal ini disebabkan oleh perbedaan distribusi ukuran pori antara kedua jenis lapisan tanah itu. Berkaitan dengan ruang pori tanah, yaitu ruang

yang ditempati oleh air dan udara, terdapat dua parameter yaitu jumlah ruang pori dan ukuran pori.

Jumlah ruang pori ditentukan oleh tersusunnya butiran padat. Jika butiran padat ini berimpitan seperti halnya lapisan bawah yang kompak atau pasir, maka jumlah ruang porinya sedikit. Tapi bila partikel tanah tersusun secara sarang, seperti pada tanah yang bertekstur sedang, maka jumlah ruang pori untuk tiap unit isinya banyak.

Sedangkan ukuran pori berkaitan dengan besarnya ruang pori. Secara umum dikenal dua macam besarnya pori dalam tanah yaitu pori makro dan pori mikro. Walaupun tidak terdapat perbedaan yang tegas, pori makro menstimulasi pergerakan udara dan air, sedangkan pori mikro menghambat pergerakan udara, dan air hanya dibatasi pada pergerakan kapiler saja. Jadi, pada tanah berpasir, walaupun jumlah ruang porinya sedikit, pergerakan udara dan air sangat cepat disebabkan oleh dominasi pori makro. Sedangkan tanah bertekstur halus melambatkan pergerakan udara dan air karena didominasi oleh pori mikro, walaupun dijumpai jumlah ruang pori yang banyak (Soepardi 1979).

Jika mengacu dari sudut pandang ini, maka banyak tanah yang memiliki lapisan porous memiliki laju infiltrasi yang tinggi dibandingkan tanah yang memiliki lapisan yang tidak porous karena memiliki ruang pori makro yang lebih banyak.



Gambar 3.3. Pengaruh Lapisan Tanah terhadap Laju Infiltrasi

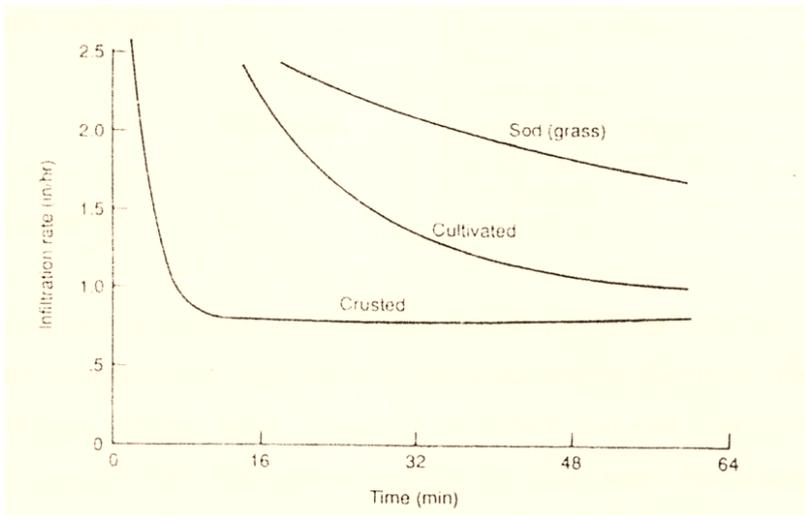
Tanah yang memiliki lapisan porous misalnya dijumpai pada tanah yang baru saja dibajak. Tanah yang porous pada lahan yang

baru dibajak akan menginfiltrasikan air hujan dengan cepat, namun ketika hujan terus berlanjut, tanah akan terpadatkan dan laju infiltrasi berkurang (Singh 1992).

Pada tanah yang memiliki lapisan berkerak, pori tanah malah tertutup sama sekali, sehingga menghalangi infiltrasi. Penyebab terbentuknya lapisan kerak tanah adalah masuknya partikel halus ke dalam pori-pori tanah memiliki efek mengurangi ukuran bukaan pori. Sumber partikel halus tanah adalah berasal dari struktur tanah yang hancur dan terdispersi oleh energi air hujan, yang kemudian masuk ke pori-pori permukaan atau pori-pori dekat permukaan. Sekali terbentuk, kerak ini akan menghalangi infiltrasi (Rawls et al. 1993).

Sumber lain dari partikel halus yang mengisi pori-pori dan membentuk kerak adalah dari partikel halus yang diterbangkan ke udara secara terus menerus oleh angin dan diendapkan di permukaan tanah (Singh 1992). Ketika hujan turun pada tanah yang tertutup oleh partikel halus ini, mereka terbawa ke sela-sela ruangan antar butiran tanah. Kondisi ini mengakibatkan halangan terhadap bukaan pori, sehingga membentuk kerak dan mengurangi laju infiltrasi.

Rawls et al (1993) memberikan ilustrasi perbedaan antara tutupan tanah yang berkerak, yang terolah, dan tutupan rumput, terhadap kurva infiltrasi (**Gambar 3.6**). Tanah yang diolah terbuka memiliki infiltrasi lebih tinggi dari tanah yang berkerak pada awalnya, namun bagaimanapun laju infiltrasi pada kondisi tetap (steady state) mendekati laju infiltrasi pada kondisi tetap pada tanah yang berkerak karena pada saat itu kerak sedang terbentuk. Sedangkan tanah yang tertutup rumput memiliki laju infiltrasi yang lebih tinggi dari tanah berkerak karena rumput melindungi tanah dari pembentukan kerak.



Gambar 3.4. Pengaruh lapisan kerak terhadap laju infiltrasi

Lapisan kerak juga terbentuk akibat pemadatan oleh manusia dan hewan. Jalur jalan, jejak-jejak hewan, daerah penggembalaan berat, dan daerah yang dipadatkan dengan mesin berat akan membuat lapisan tanah menjadi padat. Pemadatan ini mengurangi laju infiltrasi. Musgrave dan Holtan (1964) mengingatkan bahwa tanah yang memiliki lapisan bawah yang berdrainase baik dapat kerak di permukaan tanah sehingga memiliki laju infiltrasi yang rendah.

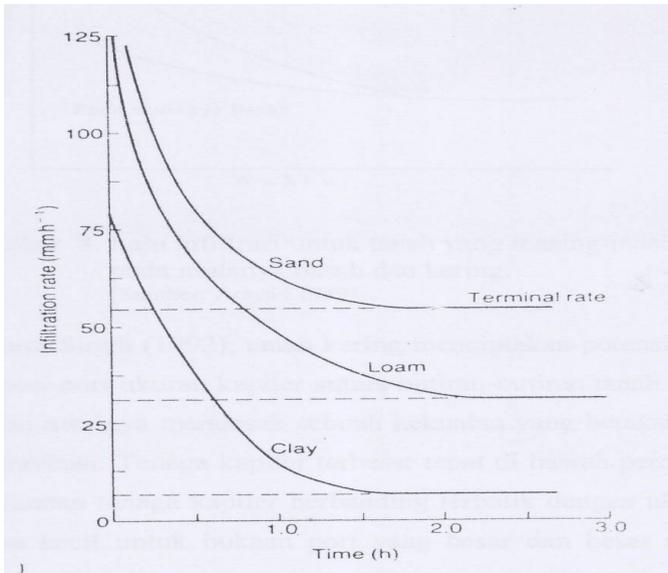
b. Tipe Tanah

Tipe tanah adalah berkaitan dengan tekstur dominan dari tanah yang bersangkutan. Istilah umum yang sering digunakan adalah tanah berpasir, tanah berlempung, dan tanah berliat. Dalam Soepardi (1979) dikemukakan padanan istilah umum yang sering dipakai untuk melukiskan tekstur tanah sehubungan dengan kelas tekstur tanah Sistem Klasifikasi Departemen Pertanian Amerika Serikat (**Tabel 3.3**).

Tabel 3. 3. Padanan nama biasa, tekstur dan kelas tekstur tanah

Istilah umum		Nama kelas tekstur tanah
Nama Biasa	Tekstur	
Tanah berpasir	Kasar	Berpasir
		Pasir berlempung
Tanah berpasir	Agak kasar	Lempung berpasir
		Lempung berpasir halus
	Sedang	Lempung berpasir sangat halus
		Lempung
		Lempung berdebu
		Debu
	Agak Halus	Lempung berliat
		Lempung liat berpasir
		Lempung liat berdebu
	Tanah berliat	Halus
Liat berdebu		
Liat		

Sama halnya dengan pengaruh tanah dengan lapisan porous terhadap laju infiltrasi, tipe tanah mempengaruhi laju infiltrasi berkaitan dengan distribusi ukuran pori. Tanah dengan tekstur kasar (berpasir) memiliki pori-pori berukuran besar. Menurut Arsyad (1989), laju masuknya hujan ke dalam tanah ditentukan terutama oleh ukuran dan susunan pori-pori besar tersebut. Pori-pori ini dinamai porositas aerasi karena mempunyai diameter yang cukup besar (sama dengan dan lebih besar dari 0,06 milimeter) yang memungkinkan air keluar dengan cepat sehingga tanah beraerasi baik. Pori-pori tersebut juga memungkinkan udara keluar dari tanah sehingga air dapat masuk.



Gambar 3.5. Laju infiltrasi pada beragam tipe tanah (Sumber: Withers & Vipond 1974 dalam Morgan 1986)

Morgan (1986) juga berpendapat bahwa tanah dengan tekstur kasar seperti pasir atau lempung berpasir memiliki laju infiltrasi lebih tinggi dari pada tanah bertekstur liat karena ruang antara partikel tanah yang lebih besar. Kapasitas infiltrasi tanah berpasir lebih dari 200 mm per jam dan kurang dari 5 mm per jam untuk tanah liat.

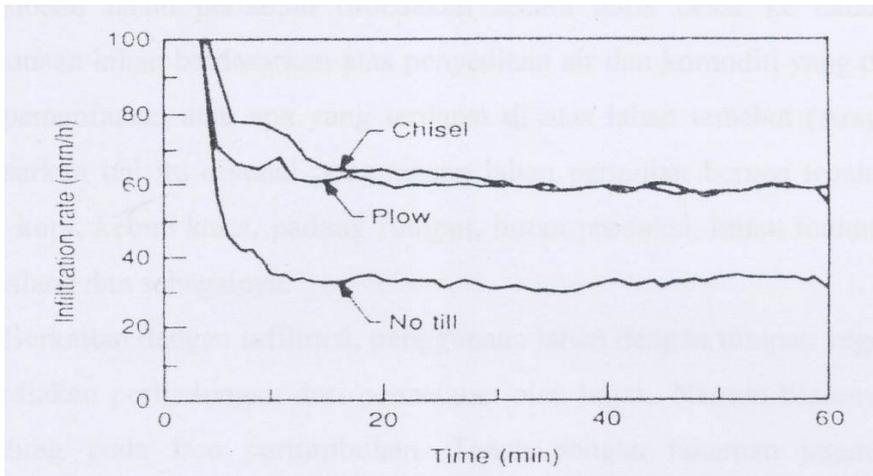
c. Pengolahan tanah

Pengolahan tanah (tillage) adalah manipulasi mekanik terhadap tanah untuk menyediakan kondisi tanah yang sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan tanaman, pengendalian gulma, dan untuk memelihara kapasitas infiltrasi dan aerasi.

Sinukaban (2006) menyebutkan beberapa jenis pengolahan tanah berkaitan dengan infiltrasi, yaitu (a) conventional tillage, yaitu tanah diolah seluruhnya, (b) chisel tillage, yaitu tanah diolah sekali, (c) buffalo tillage yaitu pengolahan tanah pada barisan tanaman saja, dan (d) no tillage atau zero tillage, yaitu tanpa pengolahan tanah.

Throw et al yang diacu dalam Rawls et al (1993) menemukan bahwa daerah di sekitar tanaman memiliki laju infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah di antara tanaman.

Gambar 3.8 mengilustrasikan pengaruh praktek pengolahan tanah (moldboard plow, chisel plow, dan no till) terhadap infiltrasi. Brakensiek et al yang diacu dalam Rawls et al (1993) melaporkan bahwa pengolahan tanah menggunakan bajak moldboard akan meningkatkan porositas (ruang pori) dari 10 sampai 20 % tergantung tekstur tanah dan akan meningkatkan laju infiltrasi dibandingkan dengan tanah yang tidak diolah.



Gambar 3.6. Laju infiltrasi untuk tanah debu berlempung Port Byron 2 bulan setelah pengolahan dengan chisel dan moldboard (Sumber: Rawls et al 1993)

Salah satu pengolahan tanah yang secara signifikan mempertahankan laju infiltrasi tetap tinggi adalah pengolahan tanah dengan menerapkan mulsa vertikal. Mulsa vertikal adalah mulsa sisa tanaman yang diberikan dalam alur lubang (Kohnke 1968 diacu dalam Brata, Sudarmo, dan Waluyo 1994). Lebih lanjut dijelaskan mulsa vertikal dapat mempertahankan keefektifan pengolahan tanah dalam (*subsoiling*) untuk meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah yang mudah memadat atau mempunyai lapisan kedap. Mulsa vertikal dapat meningkatkan infiltrasi sampai beberapa musim pertanaman.

Penelitian Brata, Sudarmo, dan Waluyo (1994) menemukan bahwa terdapat pengaruh nyata dalam perlakuan penambahan cacing tanah dan mulsa vertikal terhadap laju infiltrasi. Terdapat pengaruh saling menguntungkan antara mulsa vertikal dan cacing tanah. Mulsa vertikal menyediakan makanan, perlindungan dan habitat

yang cocok bagi cacing tanah, sedangkan aktivitas cacing tanah dalam menggali lubang, memakan dan mencampur bahan organik, mineral dan mikroorganisme dapat mempercepat dekomposisi sisa tanaman dan perbaikan sifat fisik tanah. itu semua membuat laju infiltrasi meningkat.

d. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan adalah setiap bentuk intervensi (campur tangan) manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik materil maupun spiritual. Penggunaan lahan dapat dikelompokkan dalam dua golongan besar yaitu penggunaan lahan pertanian dan penggunaan lahan non pertanian.

Penggunaan lahan pertanian dibedakan secara garis besar ke dalam macam penggunaan lahan berdasarkan atas penyediaan air dan komoditi yang diusahakan serta pemanfaatan atau apa yang terdapat di atas lahan tersebut (Arsyad 1989). Berdasarkan hal ini dikenal penggunaan lahan pertanian berupa tegalan, sawah, kebun kopi, kebun karet, padang rumput, hutan produksi, hutan lindung, padang alang-alang, dan sebagainya.

Berkaitan dengan infiltrasi, penggunaan lahan dengan tutupan vegetatif akan menyediakan perlindungan dari pemadatan oleh energi air hujan. Namun besarnya infiltrasi tergantung pada fase pertumbuhan. Tanah dengan tanaman jagung dewasa memiliki infiltrasi yang lebih besar dibandingkan dengan jagung yang baru ditanam. Menurut Rawls et al (1993), peningkatan infiltrasi ini disebabkan oleh peningkatan bukaan akar dan perlindungan daun-daunan dewasa yang melindungi tanah dari pemadatan oleh air hujan.

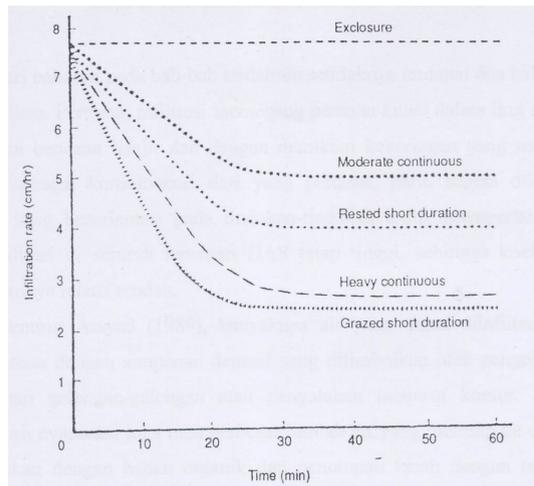
Dalam banyak kasus, vegetasi asli yang rimbun memiliki banyak bukaan akar yang meningkatkan infiltrasi. Vegetasi yang padat juga menyediakan resistensi untuk aliran lateral dari air melalui vegetasi, meningkatkan kedalaman aliran, dan meningkatkan kesempatan air untuk terinfiltrasi. vegetasi yang lebat menyediakan selapisan material vegetatif yang melapuk yang menjadi sumber energi bagi bakteri, insekta dan hewan berkembang. Akumulasi serasah di lantai hutan memberikan lapisan padat dari material vegetatif yang mengurangi kecepatan aliran lateral dan meningkatkan infiltrasi (Singh 1992) .

Menurut Sri Harto (1993), tanaman di atas permukaan tanah berpengaruh terhadap laju infiltrasi dengan dua cara, yaitu berfungsi

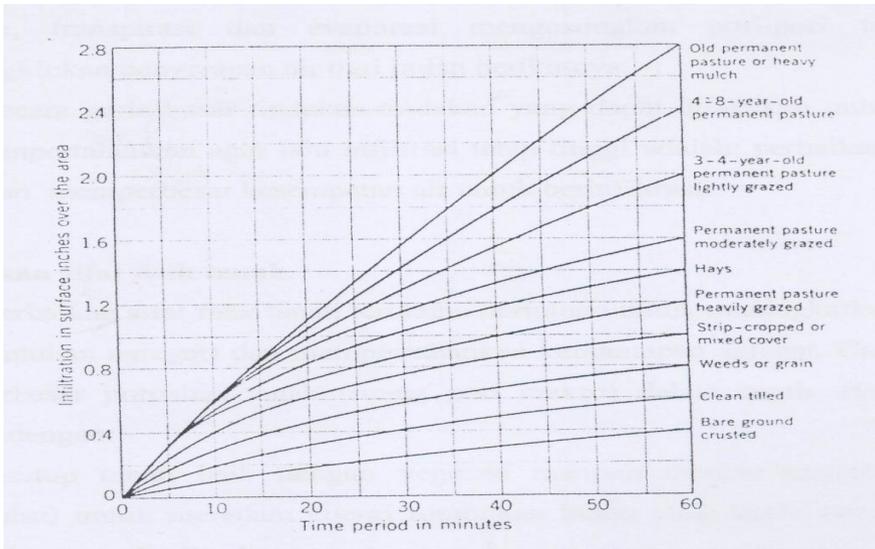
menghambat aliran air di permukaan sehingga kesempatan berinfiltrasi lebih besar, dan sistem perakaran yang dapat lebih menggemburkan struktur tanahnya. makin baik tutupan tanaman yang ada, laju infiltrasi cenderung lebih tinggi.

Lebih jauh tentang peranan akar tanaman terhadap laju infiltrasi, (Singh 1992) menjelaskan bahwa ketika tanaman bertumbuh, akar mereka menembus tanah. Kedalaman penetrasi ke dalam tanah oleh akar dapat mencapai antara beberapa inci sampai sekitar 100 ft (30,5 meter). Perkiraan masuk akar rata-rata akar sekitar 30 in (76 cm). Akar dari tanaman tahunan mati dan melapuk setiap tahun dan beberapa tanaman semusim juga mati dan melapuk. Bukaan akar bekas dari pelapukan akar memberikan akses berupa saluran berbentuk pipa untuk infiltrasi air dan meningkatkan laju infiltrasi. Aksi akar selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman juga menyebarkan tanah dan membantu infiltrasi.

Gambar 3.9 menggambarkan kurva infiltrasi untuk berbagai ragam jenis penggunaan lahan. Dari kurva ini nampak bahwa pada tanah yang memiliki apisan berkerak, air yang terinfiltrasi ke permukaan tanah selama 60 menit hanya dangkal, dan semakin dalam dengan adanya vegetasi. Air terinfiltrasi ke kedalaman terdalam pada tanah dengan padang penggembalaan permanen yang lama atau yang diberi banyak mulsa.



Gambar 3.7. Laju infiltrasi rata-rata untuk beragam perlakuan padang penggembalaan di Fort Stanton, New Mexico (Sumber: Rawls et al 1993)



Gambar 3.8. Kurva infiltrasi beberapa jenis penggunaan tanah
(Sumber: Schwab et al 1966)

3.2.2. Tindakan Untuk Mempertahankan Laju Infiltrasi Tetap Tinggi

Dari bahasan pada bab-bab terdahulu setidaknya terdapat dua hal yang dapat disimpulkan. Pertama, infiltrasi memegang peranan kunci dalam ikut menentukan terjadinya bencana banjir dan dengan demikian kekeringan yang menyertainya. Kedua, sebagai konsekuensi dari yang pertama, perlu segera dikembangkan strategi yang berorientasi pada tindakan-tindakan untuk mempertahankan agar laju infiltrasi di seluruh kawasan DAS tetap tinggi, sehingga koefisien aliran permukaannya relatif rendah.

Menurut Arsyad (1989), banyaknya air yang dapat diinfiltrasikan dapat ditingkatkan dengan simpanan depresi yang ditimbulkan oleh pengolahan tanah, pembuatan galengan-galengan atau pengolahan menurut kontur. Mengurangi banyaknya evaporasi juga memperbesar jumlah air yang meresap ke dalam tanah. Pemupukan dengan bahan organik dan penutupan tanah dengan tanaman atau sisa-sisa tanaman juga memperbesar kapasitas infiltrasi. Lobang-lobang atau celah-celah pada tanah yang ditimbulkan binatang-binatang tanah atau serangga memperbesar peresapan air. Hilangnya air dari tanah melalui sistem drainase, transpirasi dan evaporasi mengosongkan pori-pori tanah yang memungkinkan penyerapan air dari hujan berikutnya.

Secara garis besar tindakan-tindakan yang dapat dilakukan untuk menjaga dan mempertahankan agar laju infiltrasi tetap tinggi adalah: perbaikan sifat fisik tanah dan memperbesar kesempatan air untuk berinfiltrasi.

a. Perbaikan sifat fisik tanah

Perbaikan sifat fisik tanah terutama bertujuan untuk meningkatkan granulasi (pembentukan agregat) dan mempertahankan kemandapan agregat. Cara ini dapat memperbesar porositas tanah (ruang pori makro) dalam tanah. Hal ini dapat dicapai dengan:

1. Menutup tanah baik dengan vegetasi maupun dengan sisa-sisa tanaman (mulsa) untuk meredam energi tumbukan hujan yang dapat menghancurkan struktur tanah. Struktur tanah yang hancur akan menutup pori-pori tanah, yang dapat menyebabkan terbentuknya lapisan kerak, sehingga akan mengakibatkan menurunnya laju infiltrasi.
2. Menambah bahan organik ke dalam tanah sebagai sumber energi bagi aktivitas organisme tanah. Dengan demikian akan tersedia miselia jamur dan aksinomisetes yang akan mengikat secara fisik partikel primer tanah menjadi agregat dan akan mengeluarkan senyawa-senyawa organik yang akan mengikat secara kimia-wi partikel primer menjadi agregat.
3. Menambah *soil conditioner* yaitu bahan kimia yang bertujuan mempertahankan susunan agregat dan struktur tanah sehingga dapat meningkatkan porositas.

b. Memperbesar kesempatan air untuk berinfiltrasi

Upaya untuk memperbesar kesempatan air untuk berinfiltrasi dapat dilakukan dengan cara

1. Memperbanyak simpanan depresi (*depression storage*) dengan pengolahan tanah dan penanaman secara kontur, pembuatan teras (teras kredit, teras gulud, teras bangku), budidaya lorong, pemberian mulsa.
2. Memperbanyak simpanan depresi melalui pengolahan tanah (*tillage*). Namun pengolahan tanah jangan sampai berlebihan dan memecah struktur tanah sehingga rentan terhadap pukulan air hujan.

3. Meningkatkan pori-pori biologis (*biopore*) berupa lubang-lubang yang dibuat oleh cacing tanah / serangga, serta perakaran tanaman.
4. Memperbanyak simpanan depresi melalui penerapan mulsa vertikal (penempatan mulsa secara vertikal pada saluran teras) dan pembuatan rorak.
5. Memperbanyak sumur / lubang resapan buatan.

3.3 Pengembangan Peta Citra Satelit Untuk Mengidentifikasi Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Siak Siak 2002-2012

ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) merupakan sensor generasi terbaru yang dikembangkan untuk melakukan observasi permukaan bumi dalam rangka monitoring lingkungan hidup dan sumber daya alam oleh *Ministry of Economy, Trade and Industry* (Jepang) yang diluncurkan oleh platform Amerika yang bernama Terra. Penggunaan citra ASTER diharapkan cukup memadai untuk klasifikasi jenis peruntukan lahan utama di dalam Daerah Aliran Sungai.

Sub sistem dan Spesifikasi Band ASTER Citra ASTER berjalan dibawah payung *Earth Observing System* (EOS) ditujukan untuk melakukan observasi permukaan bumi dalam rangka monitoring lingkungan hidup dan sumber daya alam pada level global (www.aster-indonesia.com). ASTER terdiri atas tiga sub sistem yang berbeda, yaitu *Visible and Near-Infrared Radiometer* (VNIR), *Short Wavelength Infrared Radiometer* (SWIR), dan *Thermal Infrared Radiometer* (TIR). Penggunaan Citra ASTER Dalam penggunaannya citra ASTER telah banyak digunakan untuk berbagai keperluan seperti beberapa diantaranya adalah karakteristik spectral mineral dan batuan dengan memanfaatkan sub sistem TIR, klasifikasi peruntukan lahan memanfaatkan sub system VNIR, klasifikasi jenis tanah memanfaatkan sub sistem SWIR, monitoring aktivitas gunung berapi dengan kombinasi sub sistem VNIR dan SWIR, pemetaan tumbuhan di daerah kering dan basah memanfaatkan kombinasi sub sistem VNIR dan SWIR, monitoring suhu permukaan laut dengan memanfaatkan sub sistem TIR, dan identifikasi peruntukan lahan menggunakan kombinasi sub sistem VNIR dan SWIR. Salah satu tujuan dalam penelitian bertujuan untuk mengelompokkan pixel-pixel citra ke dalam salah satu kelas peruntukan lahan (www.aster-indonesia.com).

Tahapan Penelitian 1. Tahapan Pembuatan Batas Sub DAS

- a. Mempersiapkan Peta Topografi dan Peta Sungai Digital Skala 1:25.000 Dalam pembuatan batas DAS dengan menggunakan bantuan software AVSWAT (ArcView Soil and Water Assessment Tool) 2000, diperlukan persiapan data yang meliputi penggabungan peta kontur, pemeriksaan terhadap garis kontur, ekspor file (*.dwg) ke dalam bentuk shape file (*.shp).
 - b. Pembuatan Batas DAS dengan Automatic Delineation AVSWAT 2000 Pembuatan batas DAS dilakukan dengan menjalankan perintah automatic delineation dalam program AVSWAT, dimana membutuhkan data DEM (dalam bentuk grid), peta sungai, dan outlet (dalam penelitian ini dipergunakan outlet pada Jembatan Tawangrejeni).
2. Tahapan Interpretasi Citra Aster Pada proses interpretasi ini tidak lepas dari proses identifikasi dan evaluasi kondisi lahan pada sub DAS yang didapat dari survey lapangan. Proses pengolahan citra ASTER dibedakan menjadi tiga tahap utama yaitu pre processing, processing dan post processing.

1. Tahap Pre Processing

- a. Registrasi Citra Proses ini bertujuan mensuperposisikan (overlay) data citra dengan layer GIS yang sudah tergeoreferensi atau sudah diketahui koordinat dan sistem proyeksinya, dalam penelitian ini dipergunakan peta BAKOSURTANAL dengan layer jalan dan sungai.
- b. Komposit Citra Komposit citra bertujuan untuk menentukan komposisi RGB (Red, Green, Blue) dari citra yang akan dilakukan analisa, sehingga objek dalam citra dapat dikenali secara unsupervised dan nantinya dibandingkan dengan pengamatan dilapangan (supervised).
- c. Pemotongan Citra Pemotongan citra bertujuan untuk mendapatkan citra dengan bentuk DAS yang diinginkan. Pemotongan citra dilakukan menggunakan batas DAS dalam bentuk vektor yang sudah dibuat dengan menggunakan watershed delineation pada AVSWAT 2000, dalam studi ini dipergunakan batas DAS dengan format shape file (*.shp).

2. Tahap Processing

Klasifikasi tematik citra ASTER dilakukan menggunakan 2 metode, yaitu klasifikasi tidak terbimbing (unsupervised) dan klasifikasi terbimbing (supervised). (Prahasta E.: Maret 2008).

- a. Unsupervised Classification Klasifikasi tidak terbimbing merupakan proses pengelompokan pixel-pixel pada citra menjadi beberapa kelas menggunakan analisa cluster (cluster analysis) menggunakan metode Iso Data. Sampai disini peta citra dapat diinterpretasikan menjadi beberapa tata guna lahan misalkan, lahan terbuka, lahan tertutup vegetasi, lahan hutan.
- b. Supervised Classification Klasifikasi terbimbing merupakan proses pengelompokan pixel-pixel berdasarkan hasil survey. Tahap ini merupakan identifikasi dan klasifikasi pixel-pixel melalui training area, selanjutnya tataguna lahan lebih didetailkan lagi berdasarkan survey kondisi lapangan. Misalkan untuk kawasan vegetasi dapat dirinci lebih detail menjadi lahan persawahan padi, perkebunan kopi, perkebunan teh dan lain-lainnya.

3. Tahap Post Processing

Post processing bertujuan untuk meningkatkan tingkat akurasi hasil analisa klasifikasi. Tahap ini terdiri dari majority analysis dan Exporting Classes To Vector Layers.

- a. Majority & Minority Analysis Dua cara analisa yang dapat digunakan, yaitu metode majority dan metode minority. Metode majority merupakan metode yang mengubah pixel yang tadinya belum terklasifikasi ke dalam klas terdekat yang mayoritas. Metode minority, adalah metode yang mengubah pixel yang tadinya belum terklasifikasi ke dalam klas terdekat yang minoritas.
- b. Classification to Vektor Untuk dapat mempermudah mengolah hasil interpretasi citra yang sudah dilakukan, maka file citra perlu diubah menjadi bentuk vektor.
- c. Dalam pembuatan peta dengan skala besar dalam dima cakupan wilayah yang besar pada saat ini telah banyak menggunakan metode yang lebih modern dari pengukuran langsung dilapangan, metode ini dinamakan Remote Sensing atau sering disebut sebagai pengindraan jauh. Menggunakan metode pengindraan

jauh peta dapat dibentuk dengan berbagai tema dan dapat disesuaikan dengan tujuan pemetaan tersebut.

Dalam penggunaannya metode pengingraan jauh selalu berhubungan langsung dengan data raster dalam hal ini disebut citra. Citra ini merupakan hasil penangkapan visual permukaan bumi yang dilakukan oleh sebuah satelit. Ada beberapa satelit yang menyediakan citra ini gratis kepada pengguna seperti *Landsat*. Data ini tidak akan berarti apa – apa bila tidak ada proses yang lebih lanjut untuk mematangkan citra tersebut dengan tujuan agar citra tersebut dapat dijadikan data primer dalam pemetaan suatu wilayah.

Untuk memperoleh citra yang diinginkan terhadap suatu wilayah bisa didapat dengan *download* citra tersebut di beberapa beberapa sumber yang tersedia. Akan tetapi data yang didapat bukanlah data citra dalam format .ers melainkan data gambar dengan format .tif. untuk itu perlu dilakukan proses lebih lanjut agar data tersebut dapat digunakan.

Selain itu, sebuah citra dapat menampilkan bentuk visual dari permukaan bumi secara luas sehingga apabila dari citra tersebut hanya dibutuhkan sebagian dari citra, maka diperlukan pemotongan citra atau *cutting* citra dengan tujuan agar apa yang ditampilkan citra sesuai dengan daerah yang diinginkan.

Disisilain, ketelitian yang disajikan oleh citra yang begitu besar yang tidak sepadan dengan pengukuran langsung dilapangan, untuk itu perlu dilakukannya koreksi geometrik agar kesalahan dalam koordinat terhadap suatu titik dapat diminimalisir.

3.3.1 Pengolahan citra satelit

Karena data penginderaan jauh berupa data digital maka penggunaan datamemerlukan suatu perangkat keras dan lunak khusus untuk pemrosesannya. Komputer PC dan berbagai software seperti *ERM Mapper*, *ILWIS*, *IDRISI*, *ERDAS*, *PCI*, *ENVI* dan sebagainya dapat dipergunakan sebagai pilihan. Untuk keperluan analisis dan interpretasi dapat dilakukan dengan dua cara :

1. Pemrosesan dan analisis digital dan
2. Analisis dan interpretasi visual.

Kedua metoda ini mempunyai keunggulan dan kekurangan, setidaknya kedua metoda dipergunakan bersama-sama untuk sal-

ing melengkapi. Pemrosesan digital berfungsi untuk membaca data, menampilkan data, memodifikasi dan memproses, ekstraksi data secara otomatis, menyimpan, mendesain format peta dan mencetak. Sedangkan analisis dan interpretasi visual dipergunakan apabila pemrosesan data secara digital tidak dapat dilakukan dan kurang berfungsi baik.

Pemrosesan data secara digital dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (software) yang khusus dibuat untuk keperluan tersebut. Berbagai algoritma tersedia di dalam perangkat lunak tersebut yang memungkinkan data penginderaan jauh diproses secara otomatis. Salah satu contoh misalnya adalah menggabungkan data (3 -4 band) dalam citra gabungan dengan menggunakan filter merah, hijau dan biru (RGB) yang menghasilkan citra komposit (color composite image). Masing-masing band diberi filter yang berbeda dan menghasilkan berbagai tampilan

Selain untuk mengubah tampilan citra pemrosesan digital dapat pula dipakai untuk memperoleh data secara otomatis (ekstraksi data). Ekstraksi ini antaralain dapat dipakai untuk memetakan tanaman hijau (NDVI), klasifikasi (supervise dan unsupervise) seperti dalam memetakan tutupan lahan (landcover), memetakan badan air dan sebagainya.

Berbeda dengan pemrosesan digital dimana hampir seluruh pekerjaan dilakukan oleh komputer, analisis visual sebagian besar dilakukan oleh manusia. Dengan analisis digital komputer hanya dapat mengenal dan mengolah nilai spektralnya saja, sedangkan analisis visual manusia dapat memperkirakan dan menentukan suatu obyek berdasarkan sifat fisiknya seperti membedakan antara gajah dan kucing disamping berdasarkan nilai spektralnya. Ciri pengenal yang biasa dipakai dalam penafsiran potret udara secara utuh dapat diterapkan pada data citra penginderaan jauh. Pada data potret udara, yang berupa data analog, penafsiran dalam bentuk penarikan garis dan penandaan dilakukan pada lembar potretnya (hard copy), sedangkan pada data digital selain dilakukan pada hard copy dapat juga dilakukan langsung dari layar monitor dan hasilnya langsung disimpan dalam bentuk data digital.

Analisis visual hanya dapat dilakukan oleh manusia yang terlatih dalam bidang pekerjaannya. Dalam prakteknya tidak semua informasi

di permukaan bumi dapat diperoleh melalui pemrosesan digital maupun analisis visual. Untuk mendapatkan hasil maksimal kedua cara harus digabungkan yang akan saling melengkapi.

3.3.2 Koreksi Geometrik

Distorsi geometrik merupakan distorsi spasial, yaitu terjadi pergeseran posisispasial citra yang ditangkap. Distorsi geometrik ini disebabkan oleh kesalahan yang terjadi seperti kerusakan sensor (internal), platform (external) dan gerakan bumi. Koreksi yang dilakukan bila terjadi distorsi bersifat sederhana, seperti centering (translasi), size (skala), skew (rotasi). Gambar dibawah menggambarkan matriks transformasi. Koreksi geometrik bila terdapat distorsi yang bersifat kompleks adalah image registration/rectification, misal dengan bilinear transformation dan least square method, seperti berikut :

$$\begin{aligned} X &= aX + bY + cXY + d \\ Y &= eX + fY + gXY + h \end{aligned}$$

Adanya geometri distorsi, dan akan direstorasi diselesaikan dengan menggunakan interpolasi berdasarkan titik kontrol daratan (Ground Control Point (GCP)) yang diambil langsung dengan menggunakan teknologi seperti Global Position System (GPS). Titik-titik tersebut dibandingkan dengan posisi titik tersebut di citra. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan koreksi posisi secara pergeseran geometrik adalah dengan menggunakan metode transformasi bilinear dan least square seperti pada persamaan diatas. Jumlah pasangan persamaan diatas adalah sebanyak ground control points yang digunakan. Salah satu citra dijadikan acuan (koordinat piksel (X, Y)), maka koordinat piksel citra yang diregistrasi (X, Y) dapat dihitung dari persamaan diatas dengan menyelesaikan koefisien a, b, c, dan d.

3.3.3 Koreksi Radiometrik

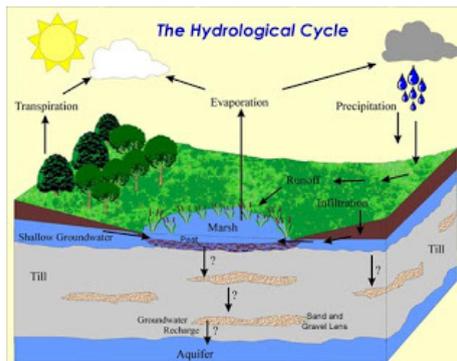
Koreksi Radiometrik muncul dalam bentuk distribusi intensitas yang tidak tepat. Sumber distorsi ini adalah kamera (internal) dalam bentuk shading effect, atmosfer (external) dalam bentuk besarnya intensitas yang tidak sama walaupun untuk obyek yang kategorinya sama, akibat adanya kabut, posisi matahari atau substansi atmosfer lainnya. Koreksi yang dilakukan untuk jenis distorsi ini adalah dengan

teknik filtering. Gambar dibawah adalah contoh adanya distorsi dalam bentuk skew (*geometric external – rotasi*) dan adanya *striping (radiometrik internal low pass filter)*.

3.4. Simulasi Model Hidrologi DAS Siak dengan Aplikasi SWAT

Dalam melakukan analisa debit banjir perlu dilakukan analisa pemodelan hidrologi suatu daerah. Pemodelan hidrologi merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan untuk memahami kompleksnya proses hidrologi dalam suatu DAS. Tujuan pemodelan hidrologi adalah untuk menggambarkan suatu sistem yang besar dan kompleks dengan cara yang lebih sederhana atau untuk memprediksikan kejadian-kejadian hidrologi ketika hubungan antar komponen sudah dibangun. Saat ini ada banyak jenis model hidrologi yang telah dikembangkan untuk merepresentasikan proses-proses hidrologi yang terjadi pada suatu DAS, mulai dari yang sangat sederhana yang membutuhkan input data yang sedikit sampai dengan model yang kompleks yang membutuhkan data yang relatif lebih banyak.

Model hidrologi secara umum bisa dikelompokkan menjadi dua, yaitu *Stochastic Models* dan *Process-Based Models*. *Stochastic Models* merupakan model kotak hitam (*black box systems*) yang didasarkan pada data dan menggunakan konsep statistika dan matematika untuk menghubungkan data-data masukan (misalkan data hujan) terhadap *output* model (misalnya debit limpasan). Sedangkan *Process-Based Models* mempresentasikan proses-proses fisik hasil observasi dari dunia nyata seperti limpasan permukaan, aliran antara, evapotranspirasi, dan aliran sungai yang kompleks ke dalam model.



Gambar 3.9.. Siklus Hidrologi

3.4.1 Pemodelan Hidrologi

Model-model hidrologi yang ada sangat bervariasi tingkat kompleksitas dan luasan area aplikasi mulai dari skala cakupan DAS hingga skala model makro. Namun diantara model-model tersebut, yang hanya bisa digunakan untuk memodelkan perubahan iklim sekaligus memodelkan perubahan tata guna lahan adalah model SWAT, karena model ini mengakomodasi parameter iklim dan tata guna lahan sebagai data input. Untuk menggunakan model SWAT, dibutuhkan beberapa data input yang spesifik tentang kondisi iklim, propertis tanah, topografi, tutupan lahan, dan manajemen lahan.

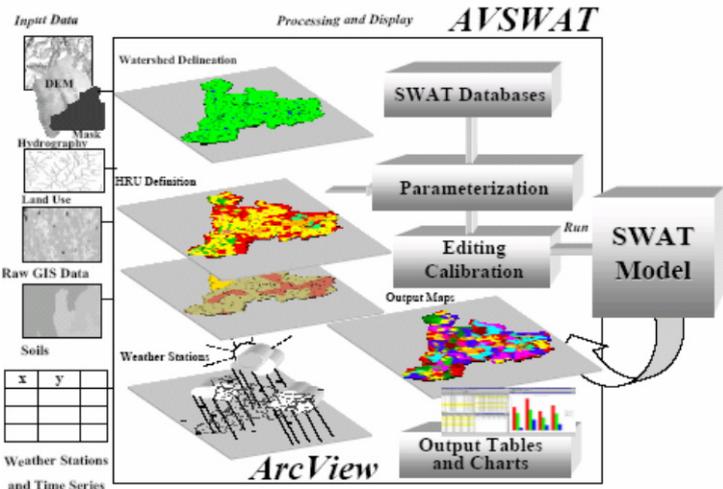
a. Software SWAT

Ada tiga *software* utama yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini, yaitu SWAT, MapWindows dan QGIS. *Software-software* tersebut merupakan *open source software* yang bisa diunduh secara gratis dari internet. *Software* SWAT digunakan untuk proses pemodelan hidrologi, sedangkan *software* QGIS dan MapWindows digunakan untuk mengolah data-data yang diperlukan untuk pemodelan.

Model SWAT merupakan *agro-hydrological watershed scale model* yang dikembangkan oleh *Agricultural Research Services of United States Department of Agriculture (USDA)*. Tujuan awal pengembangan model ini adalah untuk mensimulasikan dampak pengelolaan lahan terhadap aliran dan sedimentasi dalam suatu DAS yang tidak memiliki sistem pengamatan dan pencatatan data. Akhir-akhir ini aplikasi model SWAT telah berkembang pesat dan sangat beragam mulai dari untuk simulasi dampak perubahan tata guna lahan (Khadka, dkk., 2013; Anwar, 2011), studi erosi lahan pada DAS (Glik, dkk., 2013; Guevara, dkk., 2011), simulasi dampak perubahan iklim (Gurung, dkk., 2013; Khoi, 2012; Ferijal, 2013), strategi adaptasi perubahan iklim (Solaymani, dkk., 2013), manajemen penggunaan air untuk irigasi (Gorantiwar, 2012), simulasi manajemen pengelolaan DAS (Sood, 2009; Yu, dkk., 2009; Yustika, dkk., 2012), hingga simulasi untuk memprediksikan produktifitas suatu lahan pertanian (Escudero, dkk., 2012).

SWAT merupakan suatu model yang mampu mensimulasikan parameter-parameter hidrologi dalam jangka panjang dengan mempertimbangkan karakteristik fisik suatu DAS. Model ini pada awalnya

ya membagi DAS menjadi beberapa SubDAS yang kemudian setiap SubDAS tersebut akan dibagi kembali menjadi beberapa unit respon hidrologi (*Hidrologic Response Unit*, HRU) berdasarkan tata guna lahan, jenis tanah dan kelas lereng. Dengan asumsi tidak ada hubungan antar HRU, model kemudian mensimulasikan proses hidrologi untuk setiap HRU menggunakan metode neraca air. Simulasi neraca air tersebut meliputi parameter-parameter seperti kandungan air tanah, limpasan permukaan, evapotranspirasi, perkolasi, dan aliran bawah permukaan tanah yang kembali ke sungai. Secara sederhana skema analisis hidrologi menggunakan model SWAT disajikan pada gambar berikut ini.



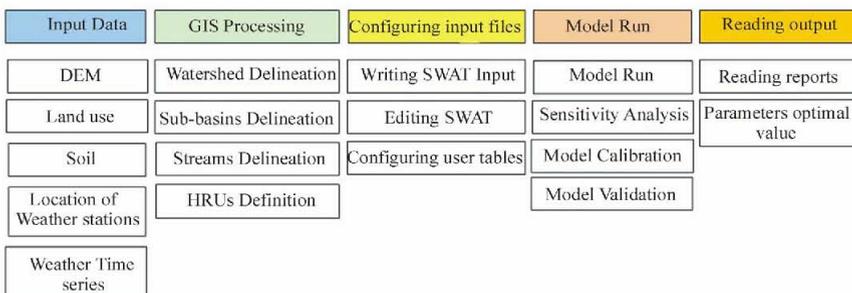
Gambar 3.10. Skema Analisis Hidrologi Menggunakan SWAT

Salah satu tujuan utama model SWAT adalah untuk memprediksi pengaruh penerapan manajemen lahan terhadap kualitas dan kuantitas air sepanjang periode waktu pada suatu DAS yang mempunyai variasi jenis tanah, manajemen dan penggunaan lahan. Siklus hidrologi yang disimulasikan di dalam model SWAT didasarkan pada persamaan keseimbangan air (*water balance*) berikut ini.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})_i \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, t adalah waktu dalam satuan hari, SW_t adalah kandungan air tanah akhir (mm), SW_o adalah kandungan air tanah awal (mm), R_{day} adalah besarnya hujan pada hari ke- i (mm), Q_{surf} adalah besarnya limpasan permukaan pada hari ke- i (mm), E_a adalah besarnya evaporasi pada hari ke- i (mm), W_{seep} adalah besarnya air yang meresap ke vadose zone dari profil tanah pada hari ke- i (mm),, serta Q_{gw} adalah besarnya debit pada hari ke- i (mm). Model SWAT membutuhkan berbagai macam data *input* yang berbentuk spasial maupun temporal. Sebagai salah satu model *semi-distributed*, SWAT memproses, mengkombinasi, dan menganalisis data spasial dengan menggunakan perangkat GIS. Oleh karena itu untuk memfasilitasi penggunaan model SWAT, telah digabungkan dengan dua software GIS sebagai tambahan ekstension, yaitu ArcSWAT untuk ArcGIS dan MWSWAT untuk Map-Window.

Tahap pertama dalam pemodelan menggunakan SWAT adalah melakukan dilineasi DAS (*watershed delineation*) dan pembagian DAS menjadi sub-DAS berdasarkan data DEM. Masing-masing sub-DAS dibagi lagi menjadi area-area yang homogen yang disebut *hydrologic Respond Units* (HRUs) yang diturunkan dari GIS yang merupakan tumpang-susun terhadap data tanah, kemiringan, dan tata guna lahan. Pada Gambar di bawah ini ditunjukkan gambaran umum komponen-komponen yang ada dalam SWAT.



Gambar 3.11. Komponen-komponen dan data input/output untuk pemodelan menggunakan SWAT

3.4.2 Data yang Dibutuhkan dan Metode Analisis Data

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebagaimana diuraikan berikut ini.

1. Data iklim harian

Data iklim harian yang dibutuhkan untuk pemodelan hidrologi meliputi data penyinaran matahari, temperatur dan kecepatan angin. Data tersebut bisa didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

2. Data curah hujan harian

Data curah hujan dalam format harian bisa didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum dan dari BMKG. Data ini digunakan sebagai *input* dalam pemodelan hidrologi.

3. Data DEM (*Digital Elevation Model*)

Data topografi dalam bentuk DEM yang digunakan pada penelitian ini adalah ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*) dengan resolusi 30 m yang bisa didapatkan di web site <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>. Pengolahan data *input* spasial membutuhkan data DEM dan batas DAS yang dilakukan menggunakan program QGIS. Data tersebut digunakan dalam rangka untuk membuat *watershed delineator* (delineasi DAS). Data DEM ini juga digunakan untuk membuat jaringan sungai dan kemiringan lahan. Data hasil olahan tersebut dibutuhkan untuk data *input* dalam pemodelan. E.6

Secara umum, obyek hasil pencitraan penginderaan jauh yang secara pasif menggunakan sistem optik ataupun secara aktif yang menggunakan sistem radar adalah informasi yang memanfaatkan obyek paling luar dari permukaan bumi, yaitu obyek penutup lahan. Hutan akan teramati oleh penginderaan jauh hanya pada bagian kanopi (daun), sedangkan obyek yang berada di bawah hutan seperti semak, rumput tidak teramati. Dari penjelasan ini, maka hasil pengukuran ketinggian yang diambil dari citra penginderaan jauh oleh radar adalah ketinggian obyek penutup lahannya, bukan ketinggian dari permukaan tanah.

4. Data tata guna lahan

Data tata guna lahan di lokasi studi didapatkan dengan ekstraksi melalui *image processing* data satelit landsat yang mempunyai resolusi spasial 30 m. Dengan cara klasifikasi supervisi (*supervised classification*) dan teknik interpretasi citra, data satelit landsat diolah untuk mendapatkan pola tata guna lahan untuk beberapa tahun data

perekaman. Data citra satelit landsat yang digunakan pada penelitian ini adalah data perekaman Tahun 2003, 2005, 2007, 2009, 2011 dan 2013. Data historis tata guna lahan tersebut akan disimulasikan ke dalam model untuk mengetahui respon DAS terhadap perubahan tata guna lahan dari tahun ke tahun. Diperlukan data verifikasiutupan lahan dari citra satelit ke lapangan, misalnya warna hijau tua untuk perkebunan kelapa sawit.

5. Data jenis tanah

Data jenis tanah bisa didapatkan dari instansi terkait, seperti Dinas Pertanian, Dinas PU, dan Bappeda. Sedangkan untuk verifikasi data tanah maka dilakukan survey lapangan. Data jenis tanah merupakan data utama dalam pemodelan hidrologi.

Koefisien infiltrasi diteliti di lapangan dengan mengambil klasifikasi berdasarkan tanah mineral dan gambut, perkebunan HTI dan karet sebagai kontrol dengan perkebunan kelapa sawit (TBM dan TM) sebagai objek utama penelitian. Sedangkan koefisien limpasan (c) dihitung dari hubungan infiltrasi dan variable waktu.

6. Data Debit Harian

Data debit sungai harian merupakan data hasil pencatatan debit dari stasiun AWLR untuk masing-masing DAS. Data ini bisa didapatkan dari Dinas PU Provinsi Riau dengan panjang data minimal 1 tahun. Data ini digunakan untuk kalibrasi model hidrologi.

3.4.3 Tahapan Pemodelan

Secara umum Penelitian ini terdiri atas dua tahapan utama, dimana pada tahap pertama, penelitian ini akan membangun sebuah model hidrologi yang bisa digunakan untuk analisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap potensi ketersediaan sumber daya air berdasarkan data historis yang terjadi di Provinsi Riau. Pada tahap pertama ini terdiri atas 5 (lima) kegiatan penelitian, yaitu pengumpulan data, analisis data, pemodelan hidrologi, kalibrasi dan validasi model, dan simulasi model hidrologi.

Pada tahap kedua, penelitian ini akan melakukan analisis keseimbangan air dengan menggunakan model hidrologi yang dihasilkan pada tahap pertama terkait dengan adanya bencana banjir,

kekeringan, dan asap akibat karhutla. Penelitian ini kemudian akan melakukan simulasi berbagai alternatif skenario perubahan iklim dan tata guna lahan dalam rangka untuk menyusun strategi konservasi sumber daya air, mitigasi bencana banjir, kekeringan, dan asap akibat kebakaran hutan dan lahan (karhutla) di wilayah Provinsi Riau.

Tahap pengumpulan data baik berupa data sekunder maupun data primer. Jenis data sekunder yang dikumpulkan pada penelitian ini seperti yang telah diuraikan pada sub-bab sebelumnya. Sedangkan data primer diperoleh melalui survei lapangan. Survei lapangan diperlukan untuk mengambil titik sampel koordinat jenis penggunaan lahan. Data ini digunakan untuk verifikasi klasifikasi penggunaan lahan berdasarkan data citra satelit landsat.

Analisis data DEM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MapWindows. Daerah observasi akan didelineasi berdasarkan batas topografi alami DAS. Metode yang digunakan dalam proses delineasi adalah metode threshold, di mana besar kecil nilai threshold yang digunakan akan menentukan jumlah jaringan sungai yang terbentuk.

Analisis data landsat terdiri atas kalibrasi radiometrik dan koreksi geometrik, klasifikasi multispektral, dan verifikasi dengan data lapangan. Kalibrasi radiometrik dilakukan agar informasi yang terdapat dalam data foto udara dapat dengan jelas dibaca dan diinterpretasikan. Kegiatan yang dilakukan dapat berupa: penggabungan data (*data fusion*), *colodraping*, penajaman kontras, dan *filtering*. Koreksi geometrik atau rektifikasi merupakan tahapan agar data citra dapat diproyeksikan sesuai dengan sistem koordinat yang digunakan. Acuan dari koreksi geometrik ini dapat berupa peta dasar ataupun data citra sebelumnya yang telah terkoreksi. Koreksi geometrik dilakukan dengan menggunakan acuan titik kontrol yang dikenal dengan Ground Control Point (GCP). Klasifikasi Multispektral merupakan sebuah algoritma yang digunakan untuk memperoleh informasi tematik dengan cara mengelompokkan suatu fenomena/obyek berdasarkan kriteria tertentu. Asumsi awal yang harus diperhatikan sebelum melakukan klasifikasi multispektral adalah bahwa tiap obyek dapat dikenali dan dibedakan berdasarkan nilai spektralnya. Proses ini dilakukan pada penelitian ini untuk memperjelas jenis tutupan lahan pada area studi. Nomenklatur jenis tutupan lahan dicocokkan dengan hasil survei lapangan.

Analisis data klimatologi aktual diperoleh dari stasiun klimatologi terdekat sedangkan data prediksi merupakan data hasil perkiraan dari *Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)* yang dilaksanakan oleh National Centers for Environmental Prediction/Environmental Modeling Center (NCEP/EMC) yang tersedia di stasiun sekitar DAS.

Berbagai data input yang dibutuhkan meliputi data iklim, peta DEM, peta penggunaan lahan, peta dan data tanah serta data biofisik DAS dimasukkan ke dalam model SWAT sehingga menghasilkan satu rangkaian model yang bisa memberikan respon hidrologi berupa suatu keluaran (output). Pada hasil keluaran tersebut dilakukan kalibrasi dan validasi untuk mengetahui tingkat keakuratan model dengan menggunakan data pengukuran AWLR di lapangan. Terdapat beberapa tahapan dalam pembangunan model SWAT yaitu: deliniasi DAS, analisis HRU (*Hidrology Response Unit*), input data iklim, membangun input data dan *Running SWAT*. HRU adalah unit satuan lahan dengan unsur karakteristik sub DAS yang berpengaruh terhadap terjadinya proses siklus hidrologi.

3.3.12 Kalibrasi dan Validasi Model Hidrologi

Proses kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang diamati/diukur dengan hasil simulasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan data debit harian observasi dengan data simulasi selama periode waktu tertentu. Data debit harian observasi merupakan data hasil pencatatan debit pada stasiun AWLR di tiap-tiap DAS yang ada di Provinsi Riau. Panjang data yang dipakai untuk kalibrasi ini adalah minimal untuk 1 tahun data. Sedangkan proses validasi dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter DAS yang sudah dikalibrasi untuk melakukan simulasi untuk tahun pengamatan yang lain. Hasil parameter-parameter yang sudah dikalibrasi dan divalidasi, selanjutnya dipakai untuk simulasi berbagai alternatif manajemen dan pengelolaan DAS.

1.3.13. Simulasi Model Hidrologi

Berbagai teknik konservasi sumber daya air disimulasikan dengan menggunakan model hidrologi yang sudah dikalibrasi dan divalidasi untuk mengetahui pengelolaan lahan terbaik di DAS. Perubahan

penggunaan lahan dan pengolahan tanah secara intensif pada lahan pertanian seringkali meningkatkan aliran permukaan. Seperti diketahui bahwa aliran permukaan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat erosi selain dari penggunaan lahan, kemiringan lereng, panjang lereng dan luas DAS. Praktek manajemen konservasi tanah pada lahan pertanian dapat mengurangi aliran permukaan. Pengelolaan Lahan Terbaik digunakan untuk mengurangi aliran permukaan dari daerah pertanian.

3.4.4 Konservasi Air dan Tanah

Pengembangan yang sedang dilakukan oleh perusahaan berhubungan dengan konservasi baik tanah maupun air. Tanah mempunyai fungsi utama sebagai sumber penggunaan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman, dan sebagai tempat tumbuh dan berpegangnya akar serta tempat penyimpanan air yang sangat diperlukan untuk kelangsungan hidup tumbuhan.

a. Neraca Air dan Kedalaman Muka Air Tanah

Curah hujan yang efektif pada periode waktu tertentu menentukan kedalaman muka air tanah melalui peubah infiltrasi. Perubahan kedalaman muka air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi cadangan air tanah, dimana semakin banyak cadangan air tanah dalam sistem tanah tersebut maka semakin tinggi kondisi muka air tanah pada periode tersebut.

Menurut penelitian dari Pasaribu, H., Mulyadi, A., Tarumon, S, 2012, menunjukkan bahwa curah hujan selama 3 tahun di salah satu Kebun PPKS sub unit Kalianta Kabun Riau, sangat bervariasi dimana curah hujan tertinggi diperoleh pada bulan Desember 2009 yaitu sebesar 548.2 mm/bulan dan terendah diperoleh di bulan Juli 2011 yaitu sebesar 21 mm/bulan. Musim kering terlama pada wilayah ini terjadi di bulan Juni 2009 yaitu selama 22 hari meskipun demikian pada bulan tersebut terdapat curah hujan yang cukup tinggi yaitu 119.6 mm/bulan, sehingga tidak memperlihatkan musim kering yang tegas selama 3 tahun pengamatan.

Menurut kriteria Schmidt dan Ferguson (1975) *dalam* Handoko (1993), bulan basah ditandai dengan rata-rata curah hujan > 100 mm/

bulan, sedangkan bulan kering rata-rata curah hujannya < 60 mm/bulan. Meskipun selama pengamatan terdapat satu bulan kering di PPKS sub unit Kalianta Kabun Riau yaitu pada bulan Juli 2011 sebesar 21 mm/bulan, wilayah ini termasuk tipe iklim A yang memiliki ciri curah hujan tinggi.

Menurut Harahap dan Darmosarkoro (1999), kelapa sawit memerlukan air berkisar 1.750 mm setara dengan curah hujan per tahun yaitu 1.700-2.000 mm/tahun untuk mencukupi kebutuhan pertumbuhan dan produksinya.

3.5 Pemetaan Area Rawan Banjir Di Pekanbaru

Pemetaan area rawan banjir di Pekanbaru dilaksanakan dengan cara pengumpulan data berupa data curah hujan (tahun 1973 sampai dengan tahun 2011), peta dasar dari pihak-pihak terkait, serta melaksanakan pengunduhan data dari internet berupa data landsat 8 Onboard Operational Land Image, (tanggal 12 Agustus 2013, ID LC81270602013224LGN00) dan data SRTM DEM.

Kemudian melakukan digitasi peta terhadap peta dasar. Digitasi yang dilaksanakan berupa digitasi batas wilayah Kota Pekanbaru, batas kecamatan, danau, dan sungai. Digitasi yang dilaksanakan menggunakan 2 (dua) peta dasar, yaitu peta Peta Rencana Penggunaan Lahan Kota Pekanbaru Tahun 2007 – 2026 dan Peta Administrasi Kecamatan dari Kerjasama Antara Dinas Pertanahan Kota Pekanbaru dan Kantor Pertanahan Kota Pekanbaru.

Setelah digitasi peta dilakukan kemudian akan dibuat tumpang susun batas wilayah terhadap data SRTM DEM dengan menggunakan batas wilayah hasil digitasi pada Tahap 3 (tiga) dan melakukan tumpang susun band pada data *landsat* 8 OLI. Dan dilakukan penentuan hasil tumpang susun *bandlandsat* untuk analisis penggunaan lahan.

3.5.1 Analisis Parameter Daerah Rawan Banjir

Dalam melakukan analisis parameter daerah rawan banjir, di antaranya sebagai berikut.

a. Parameter bentuk lahan

Setelah tahap 4 (empat) dilaksanakan, kemudian dilaksanakan pengklasifikasian terhadap data SRTM DEM. Pengklasifikasian dilaksanakan dengan menggunakan teknologi SIG. Setelah

dilaksanakan pengklasifikasian, kemudian dilaksanakan analisis luas (Ha) hasil klasifikasi bentuk lahan di setiap kecamatannya. Luasan (Ha) yang mendominasi (luas maksimum) merupakan klasifikasi yang dipilih untuk kemudian dilaksanakan pemberian kategori dan skor.

b. Parameter lereng kanan – kirisungai

Tahap analisis parameter lereng kanan – kiri (*buffer* atau sempadan) sungai dilaksanakan setelah tahap 4 (empat) dilaksanakan. Dengan menggunakan teknologi SIG, kemudian dilaksanakan pengklasifikasian. Setelah dilaksanakan pengklasifikasian kemiringan lereng secara keseluruhan di wilayah Kota Pekanbaru, kemudian dilaksanakan pembuatan *buffer* sungai berdasarkan KepPres No. 32/1990 dan PP No. 47/1997 dalam Paimin, dkk (2009). Kepres dan PP tersebut menjelaskan bahwa sempadan sungai yang harus merupakan kawasan lindung adalah lebar minimum dari bibir kanan – kiri sungai ke arah darat yang berada:

1. di luar pemukiman (berjarak 100 meter),
2. daerah pemukiman (berjarak 10 – 15 meter),
3. anak sungai (berjarak 50 meter), dan
4. daerah bertanggul yang dihitung dari tepi luar tanggul (berjarak 5 meter).

Analisis pembentukan *buffer* sepanjang sungai pada penelitian ini menggunakan lebar minimum kanan – kiri sungai selebar 100 meter dengan memanfaatkan data Peta Administrasi Kecamatan dari Kerjasama Antara Dinas Pertanahan Kota Pekanbaru dan Kantor Pertanahan Kota Pekanbaru. Setelah pembentukan *buffer* selesai dilaksanakan, kemudian dilaksanakan tumpang susun hasil klasifikasi kemiringan lereng terhadap *buffer* sungai. Dari tumpang susun tersebut akan menghasilkan luasan yang mendominasi di setiap kecamatan yang akan digunakan untuk penentuan klasifikasi, pengkategorian, dan pengskoran tingkat kerawanan banjir.

c. Parameter pembendungan oleh percabangan sungai

Tahap penentuan titik-titik pembendungan oleh percabangan sungai dilaksanakan setelah tahap ke 3 (tiga) dilaksanakan. Dengan menggunakan hasil digitasi berupa jaringan sungai dan

batas wilayah, kemudian dilaksanakan pengklasifikasian pembendungan aliran sungai pada percabangan sungai. Setelah pengklasifikasian dilaksanakan, lalu dilaksanakan pemberian kategori dan skor terhadap hasil klasifikasi.

d. Parameter *meandering/sinuousitas* sungai

Tahap analisis parameter *meandering/sinuousitas* sungai dilaksanakan setelah tahap ke 3 (tiga) selesai dilaksanakan. Dengan menggunakan hasil digitasi berupa jaringan sungai dan batas wilayah, kemudian dilaksanakan analisis *meandering/sinuousitas* sungai dengan melakukan digitasi berupa penarikan garis lurus sepanjang aliran sungai berdasarkan bentuk lengkungan berbelok-belok sungai (*meandering*). Setelah penarikan garis lurus dilaksanakan, kemudian dilaksanakan pengukuran otomatis panjang garis dan panjang aliran menggunakan teknologi SIG. Hasil pengukuran tersebut kemudian di bandingkan panjang aliran sungai terhadap panjang lurus ujung ke ujung sungai. Kemudian hasil perbandingan tersebut lalu dirata-ratakan (*average*). Dengan hasil rerata *meandering/sinuousitas* sungai di setiap kecamatan, kemudian dilaksanakan pengklasifikasian yang kemudian dilanjutkan dengan pemberian kategori dan skor klasifikasi.

e. Parameter bangunan air

Pada umumnya, parameter manajemen bangunan air berupa tanggul, bendung, waduk, kanal sudetan (*flood way*) belum tersedia di peta dasar. Oleh sebab itu, pencarian data bangunan air yang tersedia di wilayah Kota Pekanbaru dilaksanakan dengan mencari data-data jumlah bangunan air melalui internet. Setelah dilaksanakan pencarian data melalui internet, kemudian dilaksanakan kegiatan pengambilan dokumentasi yang dilanjutkan dengan dilaksanakannya pengklasifikasian bangunan air. Dari hasil pengklasifikasian bangunan air yang telah dilaksanakan, kemudian dilaksanakan pengskoran dan pengkategorian tingkat kerawanan banjir genangan di masing-masing titik tinjauan. Setelah masing-masing titik-titik tinjauan telah di beri skor, kemudian dirata-ratakan keseluruhan skor dengan pembulatan.

3.5.2 Analisis Parameter Potensi Pasokan Air Banjir Genangan

Setelah melakukan analisis parameter daerah rawan banjir kemudian dilakukan analisis Parameter Potensi Pasokan Air Banjir Genangan, di antaranya sebagai berikut.

a. Parameter curah hujan

Tahap analisis parameter curah hujan dilaksanakan setelah Tahap 2 (dua) dilaksanakan. Kemudian dilaksanakan pengklasifikasian intensitas hujan rata-rata satu hari (mm/hari). Dari hasil klasifikasi yang didapat, maka selanjutnya dilaksanakan pemberian kategori dan skor tingkat kerawanan banjir genangan di wilayah Kota Pekanbaru.

b. Parameter bentuk Daerah Aliran Sungai (DAS)

Tahap analisis parameter bentuk DAS dilaksanakan setelah Tahap 2 (dua) dilaksanakan. Kemudian dilaksanakan pemotongan (*clip/watershed bounds*) terhadap data SRTM DEM untuk memperkecil luas wilayah pembentukan DAS. Setelah dilaksanakan *watershed bounds*, kemudian dilaksanakan pembentukan bentuk DAS secara otomatis menggunakan teknologi SIG. Dalam pembentukan DAS, teknologi SIG memberikan pilihan tingkat luasan DAS berupa tampilan bentuk DAS dengan luas yang kecil atau DAS dengan luas yang besar. Dari hasil analisis otomatis oleh teknologi SIG sesuai dengan bentuk DAS yang diinginkan, maka selanjutnya dilaksanakan pengklasifikasian bentuk DAS. Pengklasifikasian juga memperhatikan bentuk aliran yang ada pada DAS. Setelah dilaksanakan pengklasifikasian bentuk DAS, kemudian dilaksanakan pemotongan (*clip*) bentuk DAS terhadap kecamatan-kecamatan di wilayah Kota Pekanbaru. Dari hasil *clip* tersebut, kemudian dilaksanakan perhitungan luasan dari setiap klasifikasi di setiap kecamatan. Luasan (Ha) yang mendominasi (luasan maksimum) merupakan luasan yang dipilih untuk klasifikasi dan kemudian dilaksanakan pengkategorian serta pengskoran klasifikasi bentuk DAS.

c. Parameter Kerapatan Drainase

Tahap analisis parameter kerapatan drainase dilaksanakan setelah Tahap 2 (dua) dilaksanakan. Tahapan kerapatan drainase ditentukan dengan memanfaatkan data SRTM DEM dengan menggunakan teknologi SIG. Kerapatan drainase dihasilkan dari

pembentukan DAS yang dipengaruhi oleh pilihan tingkat luasan DAS yang diinginkan. Semakin kecil luasan DAS yang dipilih menggunakan teknologi SIG, maka kerapatan drainase yang dihasilkan oleh teknologi SIG akan semakin rapat, dan sebaliknya. Setelah dilaksanakan pemilihan bentuk DAS dan menghasilkan kerapatan drainase yang diinginkan, maka kemudian dilaksanakan pengklasifikasian berdasarkan Tabel 2.12 yang kemudian diikuti oleh pelaksanaan pemberian kategori dan skor terhadap klasifikasi kerapatan drainase.

d. Parameter Kemiringan lereng DAS

Tahap analisis parameter kemiringan lereng DAS dilaksanakan setelah Tahap 4 (empat) selesai dilaksanakan. Data SRTM DEM tersebut kemudian diklasifikasikan secara otomatis menggunakan teknologi SIG. Hasil klasifikasi tersebut menghasilkan luasan kemiringan lereng DAS di setiap kecamatan. Setelah didapatkan luasan kemiringan lereng DAS di setiap klasifikasi, kemudian dilaksanakan pemberian kategori dan skor tingkat kerawanan banjir genangan terhadap klasifikasi dari parameter lereng. Pemberian kategori dan skor parameter kemiringan lereng berdasarkan fungsi kemiringan lereng dalam DAS, yaitu sebagai parameter potensi pasokan air banjir genangan.

e. Parameter penggunaan lahan

Tahap analisis parameter penggunaan lahan dilaksanakan setelah Tahap 5 (lima) dan Tahap 6 (enam) selesai dilaksanakan. Setelah tahap-tahap tersebut selesai dilaksanakan, kemudian dilaksanakan tumpang susun peta dasar (Tahap 3 (tiga)) terhadap data *landsat 8 OLI* (Tahap 6 (enam)) untuk menentukan klasifikasi. Dari analisis pengklasifikasian tersebut, kemudian selanjutnya dilaksanakan pemberian kategori dan skor tingkat kerawanan banjir genangan terhadap klasifikasi dari parameter penggunaan lahan.

3.5.3. Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Genangan

Analisis ini dilakukan untuk menentukan nilai kerawanan suatu daerah terhadap banjir. Nilai kerawanan suatu daerah terhadap banjir ditentukan dari total penjumlahan hasil kali dari bobot dan skor pada masing-masing parameter banjir. Nilai kerawanan ditentukan

dengan menggunakan Rumus (2.15) oleh Primayuda, A (2006), yaitu sebagai berikut.

$$K = \sum_{i=1}^n (W_i \times X_i) \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan Rumus (2.15):
 K = nilai kerawanan,
 W_i = bobot untuk parameter ke – i, dan
 X_i = skor untuk parameter ke – i.

Nilai kerawanan suatu daerah terhadap banjir ditentukan dari total penjumlahan skor masing-masing parameter banjir. Daerah yang sangat rawan terhadap banjir akan mempunyai nilai kerawanan yang tinggi dan sebaliknya, daerah yang tidak rawan terhadap banjir akan mempunyai nilai kerawanan yang rendah. Bobot masing-masing parameter seperti pada **Tabel 3.3** dan **Tabel 3.4** berikut ini.

Tabel 3. 4. Bobot parameter berdasarkan daerah rawan banjir genangan

No.	Parameter	Bobot (%)
1	Bentuk Lahan (elevasi)	30%
2	Lereng lahan kiri – kanan sungai	10%
3	Pembendungan oleh percabangan sungai/air pasang	5%
4	Meandering Sinusitas	10%
5	Bangunan air	45%

Sumber: Paimin, dkk (2009).

Tabel 3. 5. Bobot parameter berdasarkan potensi pasokan air banjir

No.	Parameter	Bobot (%)
1	Curah Hujan	35%
2	Gradien Sungai	5%
3	Bentuk DAS	10%
4	Kerapatan Drainase	5%
5	Lereng DAS	5%
6	Penggunaan Lahan	40%

Sumber:Paimin, dkk (2009)

Dalam penentuan potensi penyebab banjir genangan, parameter alami (bentuk lahan, pembendungan oleh percabangan sungai, ler-

eng kanan – kirisungai, dan *meandering* sinusitas sungai) diberikan bobot lebih besar daripada bobot parameter manajemen seperti bangunan air, dengan pertimbangan bahwa dengan pengendalian banjir pada daerah tangkapan air seperti penghutanan dan pembuatan saluran drainase masih memungkinkan terjadinya banjir, karena sifat alami tersebut sulit dikendalikan dengan pengelolaan DAS (Paimin, 2006 dalam Sukirno, dkk, 2013). Tingkat kerawanan banjir berdasarkan nilai kerawanan banjir diperlihatkan pada **Tabel 3.6** berikut ini.

Tabel 3.6 Nilai skor tertimbang dan kategori daerah rawan terkena banjir

No	Skor Tertimbang	Kategori
1	> 4,30	Sangat Rawan
2	3,50 - 4,30	Rawan
3	2,60 - 3,40	Agak Rawan
4	1,70 - 2,50	Sedikit Rawan
5	< 1,70	Tidak Rawan

Sumber: Paimin, dkk (2009)

Melaksanakan korelasi penelitian dengan cara melaksanakan tumpang susun titik-titik banjir hasil survei Tim Royal Haskoning (2011) dalam RPJMD Kota Pekanbaru Tahun 2012 – 2017 terhadap hasil analisis. Kemudian dilaksanakan pengamatan langsung ke lokasi banjir berdasarkan data lokasi titik banjir hasil survei Royal Haskoning (2011). Pengamatan/peninjauan langsung dilaksanakan bertujuan untuk mengetahui kondisi bangunan air yang tersedia (drainase, waduk, tanggul, atau kanal banjir), bentuk lahan, penggunaan lahan, bekas banjir pada bangunan, dan pengumpulan informasi tentang banjir yang terjadi di lokasi titik banjir. Selanjutnya hasil analisis berdasarkan parameter daerah rawan banjir dan parameter potensi pasokan air banjir dikorelasikan/dihubungkan terhadap hasil peninjauan langsung di lokasi titik banjir. Tahap-tahap penelitian di atas secara umum dituangkan ke dalam diagram alir penelitian,

Diagram alir di atas menggambarkan bahwa penelitian ini dilaksanakan dengan membagi parameter banjir genangan menjadi 2 (dua) tahap, yaitu tahap parameter potensi wilayah rawan banjir genangan dan tahap parameter potensi pasokan air banjir genangan. Pembagian ini dimaksudkan agar memudahkan peneliti dalam

melakukan analisis. Sedangkan adanya garis putus-putus yang terlihat pada diagram alir di atas menunjukkan bahwa tahapan penelitian parameter potensi pasokan air banjir genangan dilaksanakan setelah tahapan penelitian parameter potensi daerah rawan banjir genangan.

3.5.4. Mitigasi Area Banjir Melalui Pembangunan Tangkapan Air di Kota Pekanbaru

Banjir di DAS Siak jika terjadi pada daerah hutan dan rawa tidak menimbulkan dampak sosial yang signifikan. Namun daerah yang terjadi di Kota perlu diantisipasi melalui berbagai macam upaya seperti upaya teknis berupa pembangunan tangkapan air agar tidak menimbulkan dampak sosial dan kerugian ekonomi penduduk perkotaan.

3.5.5. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak

Perubahan kondisi hidrologi DAS sebagai dampak perluasan lahan kawasan budidaya yang tidak terkendali tanpa memperhatikan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air seringkali mengarah pada kondisi yang kurang diinginkan, yaitu peningkatan erosi dan sedimentasi, penurunan produktivitas lahan, dan percepatan degradasi lahan. Hasil akhir perubahan ini tidak hanya berdampak nyata secara biofisik berupa peningkatan luas lahan kritis dan penurunan daya dukung lahan, namun juga secara sosial ekonomi menyebabkan masyarakat menjadi semakin kehilangan kemampuan untuk berusaha di lahannya. Oleh karena itu, peningkatan fungsi kawasan budidaya memerlukan perencanaan terpadu agar beberapa tujuan dan sasaran pengelolaan DAS tercapai, seperti: 1) erosi tanah terkendali, 2) hasil air optimal, dan 3) produktivitas dan daya dukung lahan terjaga. Dengan demikian degradasi lahan dapat terkendali dan kesejahteraan masyarakat dapat terjamin.

Ruang lingkup kegiatan monitoring dan evaluasi kinerja DAS dalam penelitian ini difokuskan pada: (i) evaluasi tata air : curah hujan, debit aliran air sungai, laju sedimentasi, (ii) evaluasi penggunaan lahan berupa penutupan vegetasi, kesesuaian penggunaan lahan.

Sesuai dengan Keputusan Menteri Kehutanan No 52/Kpts-II/2001 bahwa evaluasi DAS dipilah antara evaluasi kinerja DAS dan pengelolaan DAS. Berkenaan dengan penelitian ini evaluasi dilakukan ada-

lah evaluasi kinerja DAS, yaitu sistem evaluasi yang dilakukan untuk memperoleh data dan informasi terka it kinerja DAS. Untuk memperoleh data dan informasi tentang gambaran menyeluruh mengenai perkembangan kinerja DAS yang ditekankan pada penggunaan lahan dan aspek tata air seperti diuraikan pada matrik **Tabel 3.7**

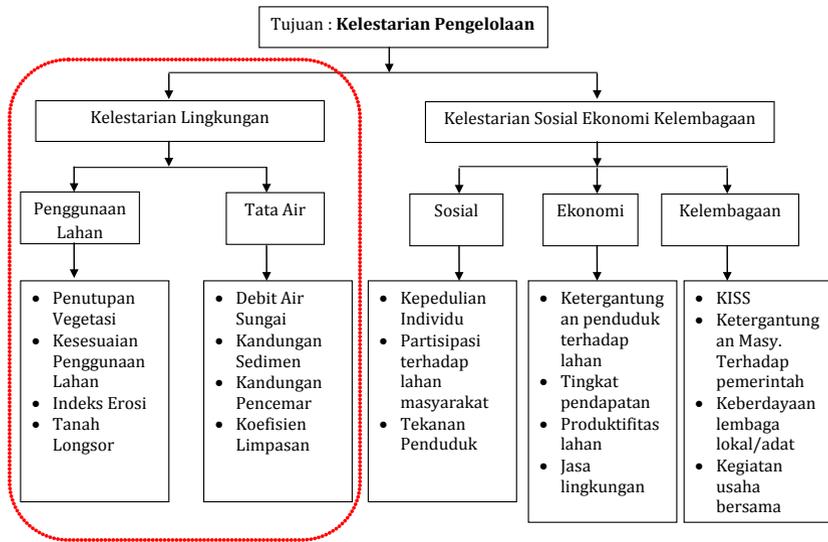
Tabel 3.7 Kriteria dan Indikator Kinerja DAS

KRITERIA	INDIKATOR	PARAMETER	STANDAR EVALUASI	KETERANGAN
A. Penggunaan Lahan	1. Penutupan Oleh Vegetasi (IPL)	$IPL = \frac{LVP}{Luas\ DAS} \times 100\%$	IPL > 75% baik IPL = 30 – 75% sedang IPL < 30% Jelek	IPL = Indeks Penutupan Lahan LVP = Luas ;ahan Bervegetasi Permanen Informasi dari peta penutupan lahan atau <i>land use</i>
	2. Kesesuaian Penggunaan Lahan (KPL)	$KPL = \frac{LPS}{Luas\ DAS} \times 100\%$	KPL > 75% baik KPL = 40 – 75% sedang KPL < 40% Jelek	LPS = Luas Penggunaan Lahan yang Sesuai Rujukan kesesuaian penggunaan lahan adalah RTRW/K dan atau pola RLKT
	3. Erosi, Indeks Erosi (IE) dan atau Pengelolaan Lahan	$KPL = \frac{Erosi\ Aktual}{100\%}$ Erosi yang ditoleransi Pola Tanam (C) dan tindakan konservasi (P) atau (CP)	$IE \leq 1$ baik $IE > 1$ jelek $CP \leq 0,10$ baik $CP = 0,10 - 0,50$ sedang $CP \geq 0,5$ jelek	Perhitungan erosi merujuk pedoman RTL-RLKT 1998 Perhitungan nilai C dan P merujuk pedoman RTL-RLKT 1998
	4. Kerawanan Tanah Longsor	Hujan, lereng, geologi, sesar/gawir, tanah, penutupan lahan, infrastruktur, kepadatan pemukiman	KTL < 2,5 baik KTL 2,5 – 3,5 sedang KTL > 3,5 jelek	Perhitungan dengan cara skoring Buku sidik cepat degradasi subDas (2006)

1. Debit air sungai	<p>a. $KRS = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$</p> <p>b. $CV = Sd \times 100\%$ Q rata-rata</p> <p>c. $IPA = \frac{\text{kebutuhan}}{\text{persediaan}}$</p>	<p>KRS < 50 baik KRS = 50-120 sedang KRS > 120 buruk</p> <p>CV < 10% baik CV > 10% jelek</p> <p>Nilai IPA semakin kecil semakin baik</p>	Data SPAS PU/BRLIKT/HPH Q = debit sungai CV = Koefisien Varian Sd = Standar Deviasi Data SPAS IPA = Indeks Penggunaan Air
2. Laju sedimentasi (sy, mm/th))	Sy = Kadar lumpur terangkut dalam aliran air	Sy < 2 baik Sy 2-5 sedang Sy > 5 jelek	Data SPAS
3. Kandungan Pencemar (Polutan)	Kadar biofisik kimia	Menurut standar yang berlaku	Standar Baku yang berlaku, misal PP 20/1990
4. Koefisien Limpasan (C)	Koef C = $\frac{\text{Tebal Limpasan}}{\text{Tebal Hujan}}$	C < 0,25 baik C 0,25-0,50 sedang C > 0,50 jelek	Data SPAS dan perhitungan / pengukuran erosi

Sumber: Lampiran Peraturan Direktur Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Sosial Nomor : P.04/V-Set/2009.

Kerangka logika kinerja pengelolaan DAS didasarkan prinsip, kriteria, dan indikator kinerja DAS disajikan pada **Gambar 3.15** sebagai berikut :



Gambar 3.12 Kerangka logika kinerja pengelolaan DAS
(Sumber: diadopsi dari Lampiran Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Sosial Nomor : P.04/V-Set/2009)

Dengan mengacu pada definisi banjir dan kekeringan seperti disebutkan diatas, maka penilaian indikator debit air sungai (banjir dan kekeringan) di DAS menggunakan nilai parameter koefisien regim sungai (KRS), indeks penggunaan air (IPA), koefisien limpasan (C), dan koefisien variansi (CV).

a. Koefisien Regim Sungai (KRS)

1. Koefisien regim sungai (KRS) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) dalam suatu DAS.

$$KRS = \frac{Q_{maks}}{Q_{min}}$$

Ket: Q_{maks} (m^3/det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan tertinggi
 Q_{min} (m^3/det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan terendah

Data Q_{maks} dan Q_{min} diperoleh dari nilai rata-rata debit harian (Q) dari hasil pengamatan SPAS di DAS/SubDAS yang dipantau. Klasifikasi nilai KRS untuk menunjukkan karakteristik tata air DAS disajikan pada **Tabel 3.8**.

Tabel 3.8 Klasifikasi nilai KRS

No	Nilai KRS	Kelas	Skor
1	< 50	Baik	1
2	50 – 120	Sedang	3
3	> 120	Jelek	5

2. Koefisien regim sungai (KRS) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit andalan. Cara perhitungan sebagai berikut :

$$KRS = Q_{maks} / Q_a$$

$$Q_a = 0,25 \times Q_{rerata}$$

Ket : Q_{maks} (m^3/det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan tertinggi

Q_a (m^3/det) = debit andalan

Q_{rerata} = debit rata-rata bulanan lebih dari 10 tahun

Tabel 3.9 Klasifikasi Nilai KRS

No	Nilai KRS	Kelas	Skor
1	$0 < KRS \leq 5$	Sangat Baik	1
2	$2 < KRS \leq 10$	Baik	2
3	$10 < KRS \leq 15$	Sedang	3
4	$15 < KRS \leq 20$	Agak Jelek	4
5	>20	Jelek	5

b. Indeks Penggunaan Air (IPA)

Perhitungan indeks penggunaan air dibagi 2 cara, yaitu :

1. Perbandingan antara kebutuhan air dengan persediaan air yang ada di DAS.

$$IPA = \frac{\text{Kebutuhan}}{\text{Persediaan}}$$

Keterangan :

- Kebutuhan air (m^3 atau mm) = jumlah air yang dikonsumsi untuk berbagai keperluan / penggunaan lahan di DTA selama satu tahun (tahunan) misalnya untuk pertanian, rumah tangga, industri dll.

Persediaan air (m^3 atau mm), dihitung dengan cara langsung, yaitu dari hasil pengamatan volume debit (Q , mm) pada SPAS serta jumlah curah hujan rata-rata tahunan (P ,mm) di DTA

2. Perbandingan total kebutuhan air dengan debit andalan

$$IPA = \frac{\text{total kebutuhan air}}{Q_a}$$

Keterangan :

- Total kebutuhan air = kebutuhan air untuk irigasi + DMI + pengelontoran kota
- DMI = domestic, municipale, industry
- Q_a = debit andalan

Tabel 3.10 Klasifikasi nilai Indeks Penggunaan Air (IPA)

No	Nilai IPA	Kelas	Skor
1	$\leq 0,5$	Baik	1
2	0,6 – 9,0	Sedang	3
3	$\geq 1,0$	Jelek	5

c. Koefisien Limpasan (C)

Koefisien limpasan adalah perbandingan antara tebal limpasan tahunan (Q , mm) dengan tebal hujan tahunan (P , mm) di DAS atau dapat dikatakan berapa persen curah hujan yang menjadi limpasan (runoff) di DAS.

$$C = \frac{Q_{\text{tahunan}}}{P_{\text{tahunan}}}$$

Ket : Q (mm) = tebal limpasan tahunan

P (mm) = tebal hujan tahunan

Tebal limpasan (Q) diperoleh dari volume debit (Q , dalam satuan m^3) dari hasil pengamatan SPAS di DAS/Sub DAS selama satu tahun dibagi dengan luas DAS/Sub DAS (ha atau m^2) yang kemu-

dian dikonversi ke satuan mm. Sedangkan tebal hujan tahunan (P) diperoleh dari hasil pencatatan pada SPH baik dengan alat Automatic Rainfall Recorder (ARR) dan atau ombrometer.

Tabel 3.11 Klasifikasi koefisien limpasan (C) tahunan

No	Nilai C	Kelas	Skor
1	<0,25	Baik	1
2	0,25 - 0,50	Sedang	3
3	0,51 – 1,0	Jelek	5

d. Koefisien Variansi (CV)

Koefisien variansi (CV) adalah gambaran kondisi variasi dari debit aliran air (Q) tahunan dari suatu DAS.

$$CV = \frac{Sd \times 100 \%}{\text{Qrata-rata}}$$

Keterangan :

Sd = standar deviasi data debit (Q) tahunan dari SPAS

Qrata-rata = data debit rata-rata tahunan dari SPAS

Tabel 3.12. Klasifikasi nilai CV

No	Nilai CV	Kelas	Skor
1	<0,1	Baik	1
2	0,1 – 0,3	Sedang	3
3	>0,3	Jelek	5

3.5.5.1. Teknik Analisis Data

Monev penggunaan lahan DAS ditujukan untuk mengetahui perubahan kondisi lahan yang sedang terjadi serta dampaknya pada degradasi lahan di DAS. Indikator-indikator monev penggunaan lahan DAS meliputi :

1. Indeks Penutupan Lahan oleh Vegetasi (IPL)

Monev terhadap penutupan lahan oleh vegetasi di DAS adalah untuk mengetahui indeks penutupan lahan (IPL) dari luas lahan bervegetasi permanen yang ada di DAS.

$$\text{IPL} = \frac{\text{LVP}}{\text{Luas_DAS}} \times 100\%$$

Ket :

LVP (ha) = luas lahan bervegetasi permanen

Luas_DAS (ha) = luas DTA atau DAS yang menjadi sasaran

Tabel 3.13 Klasifikasi nilai Indeks Penutupan Lahan

No	Nilai IPL (%)	Kelas	Skor
1	> 75	Baik	1
2	30-75	Sedang	3
3	<30	Jelek	5

LVP diperoleh dari peta penutupan lahan aktual dan atau analisis foto udara atau citra satelit terbaru yang meliputi wilayah DAS. Vegetasi permanen yang dimaksudkan adalah tanaman tahunan seperti vegetasi hutan dan atau kebun yang dapat berfungsi lindung dan atau konservasi, dimana keberadaan vegetasi tersebut di DAS tidak dipanen dan atau ditebang.

2. Kesesuaian Penggunaan Lahan (KPL)

Monev kesesuaian penggunaan lahan (KPL) DAS adalah untuk mengetahui kesesuaian penggunaan lahan dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW) dan atau zona kelas kemampuan lahan dan yang ada di DAS.

$$\text{KPL} = \frac{\text{LPS}}{\text{Luas_DAS}} \times 100\%$$

Ket :

LPS (ha) = luas pnguunaan lahan yang sesuai di DAS

Luas_DAS (ha) = luas DTA atau DAS yang menjadi sasaran

Tabel 3.14 Klasifikasi nilai kesesuaian penggunaan lahan

No	Nilai KPL (%)	Kelas	Skor
1	> 75	Baik	1
2	40-75	Sedang	3
3	<40	Jelek	5

Penilaian LPS didasarkan pada kesesuaian antara penggunaan lahan aktual (sesuai jenisnya) dengan RTRW (kawasan lindung dan kawasan budidaya), dan atau klas kemampuan lahan (klas I s/d. VIII). Cara penilaian LPS dilakukan dengan overlay peta penggunaan lahan aktual dengan peta RTRWK, atau peta Klas Kemampuan Lahan, untuk melihat tingkat kesesuaiannya.

4. Pengelolaan Lahan (PL)

Penilaian indikator pengelolaan lahan (PL) adalah tingkat pengelolaan lahan dan vegetasi di DAS, merupakan perkalian antara faktor penutupan lahan/pengelolaan tanaman (C) dengan faktor praktek konservasi tanah/pengelolaan lahan (P).

$$PL = C \times P \quad C \times P = \sum (A_i \times CPI) / A$$

Ket :

CP = Nilai tertimbang pengelolaan lahan dan tanaman pada DAS tertentu

- CPI = Nilai pengelolaan lahan dan tanaman pada unit lahan ke i
- A_i = Luas unit lahan ke i (ha) pada DAS tertentu
- A = Luas DAS (ha)

Tabel 3.15 Klasifikasi nilai penutupan lahan (PL) atau CP

No	Nilai KPL (%)	Kelas	Skor
1	>0,075	Baik	1
2	0,075 -0,20	Sedang	3
3	<0,20	Jelek	5

Tabel 3.16 Variasi nilai C dan P untuk berbagai penutup lahan

No.	Jenis Perlakuan	Nilai CP
1	Teras Bangku	0,37
	-Kostruksi bagus	0,04
	-Konstruksi Sedang	0,15
	-Konstruksi Jelek	0,35
2	Teras tradisional	0,40
3	Teras koluvial pada strip rumput atau bambu	0,50
	-Konstruksi bagus	0,04
	-Konstruksi jelek	0,40
4	Hillside ditch atau field pits	0,30
5	Rotasi <i>Crotalaria</i> sp (legume)	0,60
6	Mulsa (sersah atau jerami 6 ton /hat/th)	0,30
	- Mulsa (sersah atau jerami 3 ton /hat/th)	0,50
	- Mulsa (sersah atau jerami 1 ton /hat/th)	0,80
7	Kontur cropping, kemiringan < 8 %	0,50
	- Kontur cropping, kemiringan 9 - 20 %	0,75
	- Kontur cropping, kemiringan >20 %	0,90
8	Teras bangku dengan tanaman kacang tanah	0,009
9	Teras bangku dengan tanaman maize dan mulsa jerami	0,006
10	4 ton/ha	0,012
11	Teras bangku dengan tanaman sorgum-sorgum	0,048
12	Teras bangku dengan tanaman maize	0,053
13	Teras bangku dengan kacang tanah	0,00
14	Strip rumput bahia (3 tahun) pada tanaman citonella	0,00
15	Strip rumput <i>brachiaria</i> (3 tahun)	0,02
16	Strip rumput bahia (1 tahun) pada tanaman kedele	0,111
17	Strip <i>crotalaria</i> pada tanaman kedele	0,34
18	Strip <i>crotalaria</i> pada tanaman padi gogo	0,398
19	Strip <i>crotalaria</i> pada tanaman kacang tanah	0,05
20	Strip maiz3 dan kacang tanah, mulsa dari sersah	0,50
21	Teras gulud dengan penguat teras	0,013
22	Teras gulud dengan tanaman bergilir padi dan maize	0,041
23	Teras gulud, sorgum-sorgum	0,063
24	Teras gulud, singkong	0,006
25	Teras gulud, maize – kacang tanah	0,105
26	Teras gulud, pergiliran kacang tanah – kedele	0,012
27	Teras gulud, padi – maize	0,056
28	Teras bangku, maize – singkong/kedele	0,024
29	Teras bangku, sorgum – sorgum	0,009
30	Teras bangku, kacang tanah	0,039
31	Teras bangku, tanpa tanaman	0,264
32	Strip <i>crotalaria</i> pada tanaman sorgum-sorgum	0,405
33	Strip <i>crotalaria</i> pada tanaman kacang tanah/singkong	0,193
34	Strip <i>crotalaria</i> pada tanaman padi gogo/singkong	0,841
35	Strip rumput pada tanaman padi gogo	0,02
36	Alang – alang permanen	0,01
37	Semak belukar	0,1
38	Hutan reboisasi taghun ke 2	0,1
39	Hutan sekunder	0,005
40	Hutan primer sedikit sersah	0,001
	Hutan primer banyak sersah	

E.1 Daerah Aliran Sungai

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (Permen PU) No.02/PRT/M2013, Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah, dimana semua air hujan yang jatuh ke daerah ini akan mengalir melalui sungai dan anak sungai yang bersangkutan (Koedotie, 2013). Daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau (Triatmodjo, 2010).

Menurut Manan, Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat diartikan sebagai kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografis yang menampung menyimpan dan mengalirkan air hujan yang jatuh di atasnya ke sungai yang akhirnya bermuara ke danau/laut (Siby, Kawet, & Halim, 2013). Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki peran yang besar sebagai sistem perlindungan dan penyangga kehidupan, oleh karena itu keberadaannya perlu dikelola dengan baik sehingga peran tersebut dapat tetap berfungsi secara lestari (Nugraha, 2008).

Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) merupakan bagian dari DAS dimana air hujan diterima dan dialirkan melalui anak sungai ke sungai utama. Setiap DAS terbagi habis menjadi wilayah yang lebih kecil yaitu Sub DAS-Sub DAS, dan apabila diperlukan maka dapat dipisahkan lagi menjadi sub-sub DAS, dan demikian untuk seterusnya (Sudarmadji, 2007).

E.2 Morfometetri Daerah Aliran Sungai

DAS memiliki karakteristik yang dapat diartikan sebagai gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter-parameter yang berkaitan dengan keadaan morfometri, morfologi, tanah, geologi, vegetasi, tata guna (penggunaan) lahan, hidrologi, dan manusia (Seyhan, 1977). Morfometri dari geomorfologi DAS merupakan nilai

kuantitatif dari parameter-parameter yang terkandung pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Oleh karena itu, parameter morfometri merupakan salah satu daya pendukung pengelolaan sumberdaya alam terutama dalam pengelolaan DAS secara terpadu, diantaranya adalah batas dan luas DAS, panjang sungai utama, orde sungai, dan tingkat kerapatan drainase (Triano, 2010).

Morfometri DAS sangat ditentukan oleh kondisi fisiografi (topografi dan batuan) dan iklim terutama hujan

E.3 Bagian-bagian Morfometri DAS

E.3.1 Luas, Panjang dan Lebar

Luas, panjang, serta lebar sungai untuk setiap DAS berbeda-beda. Garis batas daerah-daerah aliran yang berdampingan disebut batas daerah pengaliran. Luas daerah sungai diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi (Soedarsono & Takeda, 2003). DAS dengan bentuk sempit dan memanjang mempunyai bentuk hidrograf aliran yang landai, sebaliknya DAS yang mempunyai bentuk yang melebar mempunyai hidrograf aliran lebih meruncing (Priyono & Savitri, 1997).

E.3.2 Bentuk DAS

Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran sungai dan ketajaman puncak banjir. Semakin bulat bentuk DAS berarti semakin singkat waktu konsentrasi yang diperlukan, sehingga semakin tinggi fluktuasi banjir yang terjadi. Sebaliknya semakin lonjong bentuk DAS, waktu konsentrasi yang diperlukan semakin lama sehingga fluktuasi banjir semakin rendah. Bentuk DAS secara kuantitatif dapat diperkirakan dengan menggunakan nilai nisbah memanjang (*elongation ratio/Re*) dan kebulatan (*circularity ratio/Rc*).

Elongation ratio (Re) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Re = 1.129 \frac{A^{1/2}}{L_b} \dots\dots\dots (1.1)$$

dengan :

- Re = faktor bentuk
- A = luas DAS (km²)
- L_b = panjang sungai utama (km)

(circularity ratio/Rc) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Rc = \frac{4\pi A^2}{P^2} \quad Rc = \frac{4\pi A^2}{P^2} \dots\dots\dots(1.2)$$

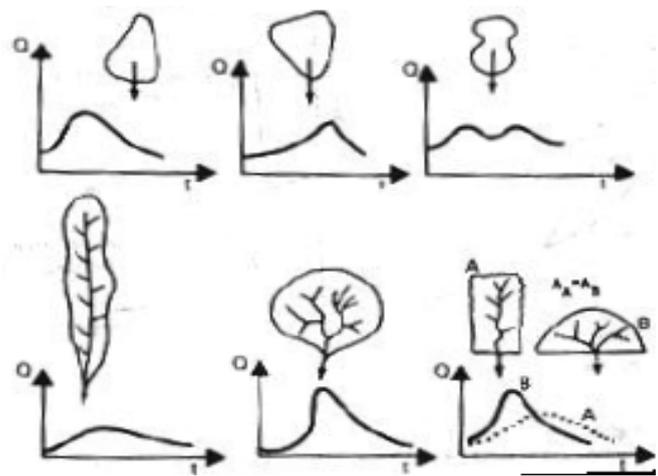
dengan :

Rc = faktor bentuk

A = luas DAS (km²)

P = keliling (perimeter) DAS (km)

Ilustrasi berbagai bentuk DAS beserta debit puncaknya digambarkan dalam bentuk kurva hidrograf aliran sebagaimana yang dapat dilihat pada **Gambar 3.16** berikut;



Gambar 3.13 Bentuk Hidrograf Daerah Aliran Sungai (Strahler, 1957)

Klasifikasi bentuk DAS ditentukan berdasarkan pada **Tabel 3.17**

Tabel 3.17. Klasifikasi bentuk DAS

No.	Nilai Bentuk DAS	Kelas Bentuk DAS
1	< 0,5	Memanjang
2	>0,5	Membulat

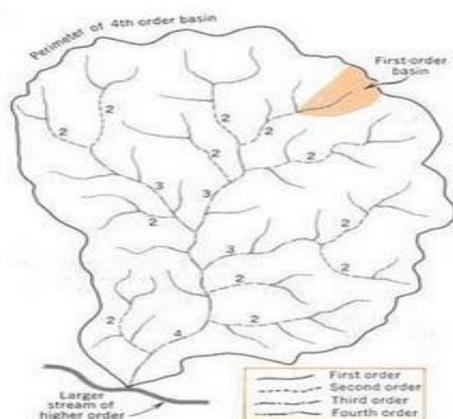
sumber : (Soewarno, 1991)

Bentuk DAS memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena kon-

sentralisasi DAS yang memanjang lebih lama dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar, sehingga terjadinya konsentrasi air di titik kontrol lebih lambat yang berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan (Asdak, 1995). Sebagai konsekuensinya konsentrasi air pada DAS bentuk bulu burung akan lebih rendah dibanding bentuk membulat (Sudarmadji, 2007).

E.3.3 Orde dan tingkat percabangan sungai

Metode kuantitatif untuk mengklasifikasikan sungai dalam DAS adalah pemberian orde sungai maupun cabang-cabangnya secara sistematis. Orde sungai adalah posisi percabangan alur sungai di dalam urutannya terhadap induk sungai di dalam suatu DAS. Dengan demikian makin banyak jumlah orde sungai akan semakin luas pula DASnya dan akan semakin panjang pula alur sungainya. Berdasarkan Metode Strahler yang dapat dilihat pada **Gambar 3.17**, alur sungai paling hulu yang tidak mempunyai cabang disebut dengan orde pertama (orde 1), pertemuan antara orde pertama disebut orde kedua (orde 2), demikian seterusnya sampai pada sungai utama ditandai dengan nomor orde yang paling besar (Anonim, 2007). Apabila sebuah sungai dengan satu tingkat bertemu dengan suatu tingkat bertemu dengan sungai yang mempunyai tingkat lebih rendah maka tingkat sungai pertama tidak berubah. Misalnya sungai tingkat satu bergabung dengan sungai tingkat dua, maka sungai di hilir pertemuan tersebut adalah tetap sungai tingkat dua.



Gambar 3.14 Penentuan orde sungai dengan metode Strahler 1957

Jumlah alur sungai suatu orde dapat ditentukan dari angka indeks percabangan sungai dengan persamaan berikut :

$$Rb = \frac{Nu}{Nu+1} Rb = \frac{Nu}{Nu+1} \dots\dots\dots(1.3)$$

Perhitungan Rb biasanya dilakukan dalam unit Sub DAS atau Sub-sub DAS untuk memperoleh nilai Rb dari keseluruhan DAS, maka digunakan sungai Rerata Tertimbang yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$W_{Rb} = \frac{\sum Rb_u (Nu+N_{u+1})}{Nu} W_{Rb} = \frac{\sum Rb_u (Nu+N_{u+1})}{Nu} \quad (1.4)$$

dengan :

- Rb = indeks tingkat percabangan sungai
- Nu = jumlah alur sungai untuk orde ke-u
- Nu+1= jumlah alur sungai untuk orde (u+1)

Dalam Anonim (2007), indek tingkat percabangan sungai (Rb) dapat dinyatakan dengan keadaan sebagai berikut::

- a. Rb < 3: alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, sedangkan penurunannya berjalan lambat
- b. Rb 3 - 5 alur sungai mempunyai kenaikan dan penurunan muka air banjir tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat
- c. Rb > 5: alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, demikian pula penurunannya akan berjalan dengan cepat

E.3.4 Kerapatan Sungai

Kerapatan sungai adalah suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS, kerapatan alur menggambarkan kapasitas penyimpanan air permukaan dalam cekungan-cekungan seperti danau,rawa, dan badan sungai yang mengalir di suatu DAS. Kerapatan aliran sungai dapat dihitung dari rasio total panjang jaringan sungai terhadap luas DAS yang bersangkutan(Sub-ekti Rahayu, 2009). Semakin tinggi tingkat kerapatan aliran sungai, berarti semakin banyak air yang dapat tertampung di badan-badan sungai. Kerapatan aliran dapat diperoleh dengan persamaan:

$$Dd = \frac{L}{A} Dd = \frac{L}{A} \dots\dots\dots(1.5)$$

dengan :

Dd = indeks kerapatan aliran sungai (km/km²)

L = jumlah panjang sungai termasuk panjang anak-anak sungai (km)

A = luas DAS (km²)

Dari nilai kerapatan aliran dapat diklasifikasikan sebagai berikut :
Dd: <0,25 km/km² : rendah; Dd:0.25-10 km/km² :sedang; 10-25 km/km² ;tinggi; dan Dd : >25 km/km² :sangat tinggi (tabel 3.18).

Tabel 3.18 Indeks kerapatan aliran sungai

No	Dd (km/km ²)	Kelas kerapatan	Keterangan
1	<0.25	Rendah	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi keras, maka angkutan sedimen yang terangkut aliran sungai lebih kecil jika dibandingkan pada alur sungai yang melewati batuan dengna resistensi yang lebih lunak, apabila kondisi lain yang mempengaruhinya sama.
2	0.25-10	Sedang	Alur sungai melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak sehingga angkutan sedimen yang terangkut akan lebih besar.
3	10-25	Tinggi	Alur sungai melewati batuan dengna resistensi yang lunak lunak sehingga angkutan sedimen yang terangkut aliran akan lebih besar
4	>25	Sangat tinggi	Alur sungai melewati batuan yang kedap air. Keadaan ini akan menunjukkan bahwa air hujan yang menjadi aliran akan lebih besar jika dibandingkan suatu daerah dengan Dd rendah melewati batuan yang permeabilitas besar

Sumber : (Soewarno, 1991)

E.3.5 Kemiringan Sungai

Kemiringan sungai merupakan hubungan antara elevasi dasar sungai dan jarak yang diukur sepanjang sungai mulai dari ujung hulu sampai muara. Kemiringan sungai utama dapat digunakan untuk memperkirakan kemiringan DAS. Air bergerak ke hilir karena pengaruh gaya gravitasi, sehingga semakin besar kemiringan semakin besar pula kecepatan aliran, dan sebaliknya waktu aliran menjadi semakin pendek.

E. 4 Hidrograf Satuan

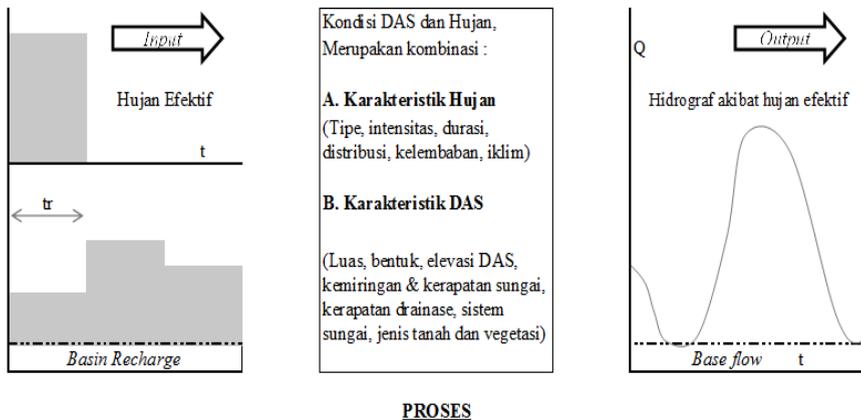
Hidrograf dapat digambarkan sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu (Harto, 1993). Hidrograf satuan merupakan hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif yang terjadi merata di seluruh DAS dan intensitas tetap dalam satuan waktu yang ditetapkan (Sherman, 1932, dalam Harto, 1993).

Maka DAS dipandang sebagai blok yang sistemnya ditandai oleh respon Q *input* tertentu, sebagai berikut :

- a. *Input* nyata, yaitu hujan efektif
- b. Proses merupakan kombinasi dari karakteristik hujan seperti : tipe, intensitas, durasi dan distribusi hujan, defisit kelembaban tanah, kondisi iklim serta karakteristik DAS seperti : ukuran DAS, bentuk DAS, Elevasi DAS, rerata kemiringan sungai, kerapatan sungai, kerapatan drainase, susunan sistem sungai, jenis tanah dan jenis vegetasi penutup.
- c. Respons (*output*) yaitu setiap DAS mempunyai karakteristik hujan dan kondisi fisik yang berbeda, sehingga setiap hidrograf di setiap DAS, mempunyai komponen hidrograf yang berbeda.

Secara sistematis sistem hidrograf satuan dapat dilihat pada

Gambar 3.18



Gambar 3.15 Sistem Hidrograf Satuan

E.4.1 Analisis Keandalan Hidrograf

Hidrograf satuan dapat diturunkan karena hanya bagian kecil saja yang dapat diukur, maka diperlukan cara untuk menurunkan hidrograf satuan bagi daerah aliran yang tak mempunyai pengukur. Metode ini sangat sederhana karena hanya menggunakan data-data karakteristik DAS seperti luas DAS, panjang sungai dan dalam beberapa kasus dapat juga mencakup karakteristik lahan.

E.4.2 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

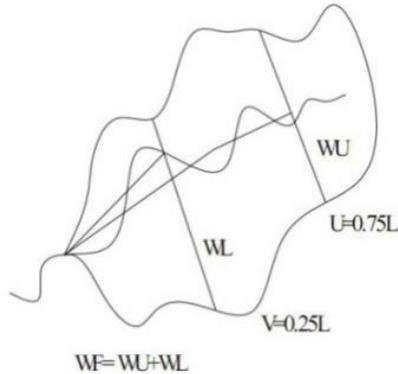
Pada penelitian analisis debit banjir rancangan di DAS Kota Pekanbaru menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis Gamma I. Hidrograf Satuan Sintetis ini digunakan karena hidrograf ini sangat cocok untuk daerah yang tak mempunyai pengukur, dan metode ini sangat sederhana karena hanya menggunakan data-data karakteristik DAS seperti luas, panjang, kemiringan dan orde sungai. Data karakteristik DAS ini bisa kita dapatkan dari hasil pemetaan yang digambarkan menggunakan program SIG.

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gamma I (harto (1993)) diturunkan berdasarkan parameter-parameter DAS yang dapat diukur dari peta topografi pada penggal sungai yang diinjau. Parameter-parameter DAS tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut ini :

- a. Faktor sumber (SF) yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai-sungai

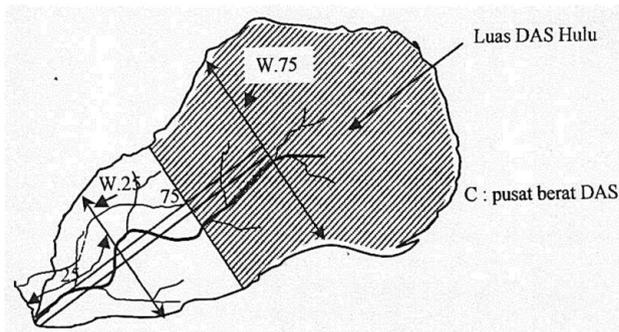
semua tingkat.

- b. Frekuensi sumber (SN) yaitu perbandingan antara jumlah pangsa sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai-sungai semua tingkat.
- c. Faktor lebar (WF) yaitu perbandingan antar lebar DAS yang terukur di titik sungai yang berjarak 0,75 L dengan Lebar DAS yang diukur di titik sungai di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri (**Gambar 3.19**)



Gambar 3.16 Sketsa penerapan WF

- d. Luas DAS sebelah hulu (RUA) yaitu perbandingan antara luas DAS yg diukur di hulu garis yg ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yg paling dekat dengan titik berat DAS, melewati titik tersebut seperti terlihat pada **Gambar 3.20**



Gambar 3.17 Sketsa Penerapan RUA

- e. Faktor simetri (SIM) yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA).
- f. Jumlah pertemuan sungai (JN) antara jumlah semua pertemuan sungai di dalam DAS tersebut. Jumlah ini tidak lain adalah jumlah pangsa sungai tingkat satu dikurangi satu.
- g. Kerapatan jaringan kuras (D) yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Hasil analisis dari debit rancangan banjir dapat dimanfaatkan untuk mengurangi resiko bencana banjir yang menjadi titik rawan di daerah Kota Pekanbaru, juga dapat digunakan untuk pengendalian banjir, pengamanan sungai dan struktur bangunan lainnya pada DAS Kota Pekanbaru.

E.5 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem yang berbasis pada komputer yang mempunyai kemampuan untuk menangani data yang bereferensi kepada geografi yang mencakup masukan, manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data), manipulasi, analisis, dan pengembangan produk serta pencetakan (Aronoff dalam Apdas, 2004) SIG mampu menyajikan informasi dalam bentuk grafis dengan menggunakan peta. Pada saat ini, SIG yang berbasis data geografis sudah banyak digunakan dalam kegiatan perencanaan, kegiatan pelaksanaan, dan kegiatan pengendalian.

Konsep dasar SIG menurut Kholid (2010), yaitu data yang mempresentasikan dunia nyata (*real world*) yang dapat disimpan, dimanipulasi, diproses, dan dipresentasikan dalam bentuk yang lebih sederhana dengan *layer-layer* tematik yang direlasikan dengan lokasi-lokasi geografi di permukaan bumi. Hasilnya data tersebut dapat dipergunakan untuk pemecahan banyak masalah –masalah dunia nyata seperti dalam perencanaan dan pengambilan keputusan menyangkut data kebumih.

Aplikasi dari Sistem Informasi Geografis di antaranya adalah:

1. di bidang geografi (untuk pemetaan tematik),
2. di bidang geologi (mengidentifikasi batuan yang berbeda dan kemudian dapat dilacak dari foto satelit),

3. di bidang pertanian dan kehutanan (digunakan untuk mengidentifikasi hutan mangrove, hutan rawa, alang-alang, dan ladang yang berpindah),
4. di bidang arkeologi (kajian tentang kerajaan Majapahit. Kajian ini pernah dipelajari oleh tim gabungan dari Fakultas Geografi UGM dengan menggunakan foto udara),
5. di bidang oseanografi (mengetahui kebocoran atau tumpahan minyak di laut, sehingga dapat segera ditanggulangi),
6. di bidang perikanan laut (memberikan informasi kepada nelayan dalam upaya menentukan lokasi penangkapan ikan di laut),
7. di bidang pertahanan dan keamanan (memberi informasi yang akurat terhadap kondisi wilayah, batas-batas teritorial, bahkan dapat mengetahui keberadaan dan ukuran kekuatan pasukan musuh. Dengan memanfaatkan teknologi GPS (*Global Position System*), sebuah rudal dapat ditembakkan secara tepat dengan berdasarkan panduan dari satelit).

Sistem Informasi Geografis memerlukan komponen-komponen yang merupakan sistem kompleks yang biasanya terintegrasi dengan lingkungan sistem komputer yang lain di tingkat fungsional dan jaringan. Komponen-komponen SIG tersebut adalah sebagai berikut.

1. Perangkat keras (*hardware*), berupa komputer dengan sistem jaringan internet yang mendukung kinerja *software* GIS serta komponen pendukung lain, seperti *printer*, *scanner*, dan *digitizer*.
2. Perangkat lunak (*software*), berupa *software-software* GIS, seperti *softwareArcGIS, QGIS, Ilwis, ISIS, Mapinfo, Arcview* dan juga perangkat *software* pendukung lainnya seperti *WindowsOperating System*. Komponen *software* digunakan sebagai alat untuk memasukkan dan memanipulasi informasi geografis, dan alat untuk menganalisis dan memvisualisasikan data citra (*Graphical User Interface, GUI*).
3. Data dan Informasi Geografi (SIG) memiliki kemampuan untuk mengumpulkan dan menyimpan data serta informasi yang diperlukan baik secara tidak langsung maupun dengan cara melakukan *import data* dari *software* GIS lainnya. Data dan informasi geografi menentukan kualitas informasi dari *output* GIS. Data dan informasi geografi dapat berupa data spasial (peta) foto

udara, citra satelit dan data atribut seperti data penduduk, data industri, dan pertambangan.

4. Metode, berupa suatu prosedur atau ketentuan pembentukan Sistem Informasi Geografis. Kesuksesan beroperasi suatu Sistem Informasi Geografis tergantung dari analisis perencanaan desain.
5. Orang/pengguna, berupa orang yang menjalankan sistem meliputi mengoperasikan, mengembangkan bahkan memperoleh manfaat dari sistem. Kategori orang yang menjadi bagian dari SIG ini ada beragam, misalnya operator, analis, *programmer*, *database administrator* bahkan *stakeholder*.

Menurut Hara (2009), SIG sering digunakan untuk pengambilan keputusan dalam suatu perencanaan. Karena pengambil keputusan dengan menggunakan SIG akan lebih mudah untuk menganalisis data informasi geografis. Penggunaan Sistem Informasi Geografis dalam pembangunan adalah sebagai berikut.

1. SIG berbasis jaringan jalan, seperti pencarian lokasi (alamat), manajemen jalur lalu lintas, analisis lokasi (misal pemilihan lokasi halte bus, terminal, dan lain-lain), dan evakuasi bencana.
2. SIG berbasis sumber daya (zona), seperti pengelolaan sungai, tempat rekreasi, genangan banjir, tanah pertanian, hutan, margasatwa, pencarian lokasi buangan limbah, analisis migrasi satwa, dan analisis dampak lingkungan.
3. SIG berbasis penggunaan tanah, seperti pembagian wilayah, pendaftaran tanah, pajak untuk tanah dan bangunan, alokasi tanah/pencarian tanah, manajemen kualitas air, dan analisis dampak lingkungan.
4. SIG berbasis manajemen fasilitas, seperti lokasi pipa bawah tanah, keseimbangan beban listrik, perencanaan pemeliharaan fasilitas, dan deteksi penggunaan energi.

Perbedaan antara SIG (Sistem Informasi Geografis) terhadap penginderaan jauh terletak pada sumber data utamanya. SIG menggabungkan banyak data spasial yang telah tersedia untuk menurunkan informasi berupa peta baru, sedangkan penginderaan jauh seperti data citra SRTM DEM (*Digital Elevation Model*) dan data citra *land-sat 8 OLI* merupakan suatu data peta baru dari suatu proses citra penginderaan jauh, seperti dari citra satelit. Hasil keluaran proses penginderaan jauh tersebut kemudian digunakan sebagai masukan data dalam SIG (Alhasnah, 2006 dalam (Primayuda (2006))).

3.6 Mitigasi Kebakaran Lahan Melalui Metode FDRS

Sistem peringatan dini untuk bahaya kebakaran sudah cukup lama dikembangkan, baik didunia internasional maupun secara nasional. Sistem ini digunakan dengan tujuan untuk meminimalkan risiko kebakaran hutan/lahan. Salah satu sistem yang banyak digunakan di Indonesia adalah *Fire Danger Rating System* (FDRS) atau Sistem Peringkat Bahaya Kebakaran (SPBK) yang diadopsi dari Kanada. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah mengembangkan sistem ini dan dioperasionalkan sejak tahun 2005 menggunakan data penginderaan jauh.

Dalam penelitian ini akan dilakukan validasi untuk menguji sensitivitas dua kode SPBK dalam mendeteksi kebakaran yang telah terjadi di Desa Tanjung Leban, Kabupaten Bengkalis pada tahun 2014 yaitu Fine Fuel Moisture Code (FFMC) dan Drought Code (DC). Data yang digunakan adalah SPBK LAPAN yang dianalisis secara time series selama periode 2 bulan menjelang terjadinya kebakaran hingga 1 bulan setelah kebakaran, data pemadaman dari Kementerian Kehutanan, *hotspot* Terra/Aqua MODIS, dan administrasi wilayah Kabupaten Bengkalis. Dari analisis sebaran waktu data SPBK sebelum kebakaran hingga puncak waktu kebakaran, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *Drought Code* (DC) menunjukkan nilai yang signifikan terus meningkat sejak 2 bulan menjelang kejadian kebakaran dan mengalami penurunan sesudah kebakaran.

Demikian pula dengan FFMC yang juga menunjukkan peningkatan dari kelas rendah hingga mencapai ekstrim pada periode kebakaran. Kedua parameter terlihat dapat mendeskripsikan kejadian kebakaran dengan baik. Namun DC yang diperoleh dari dua buah input, yaitu curah hujan dan suhu, lebih terlihat signifikan naik 2 bulan menjelang kebakaran dibandingkan FFMC. Faktor curah hujan merupakan pengaruh paling utama dalam mendeteksi kejadian kebakaran. Oleh karena itu, DC dan FFMC dapat dijadikan sebagai parameter utama yang harus diperhatikan dalam mendeteksi kebakaran hutan menggunakan data SPBK berbasis penginderaan jauh.

Untuk lokasi penelitian mitigasi kebakaran lahan yang masih berada di DAS Siak, yaitu di Kabupaten Bengkalis, Kecamatan Bukit Batu. Provinsi Riau (**Gambar 3.24**)



Gambar 3.18 Peta Pulau Sumatra, Provinsi Riau dan Kecamatan Bukit Batu
 Sumber : Peta Indonesia 2010 dan <http://sungaipakning.wordpress.com/2008/12/14/bukit-batu/>

Kecamatan Bukit Batu terdiri dari 1 kelurahan dan 14 desa yakni Kelurahan Sungai Pakning, Desa Pangkalan Jambi, Desa Dompas, Desa Sejangat, Desa Sei Selari, Desa Buruk Bakul, Desa Bukit Batu, Desa Sukajadi, Desa Parit I Api Api, Desa Temiang, Desa Api-Api, Desa Tenggayun, Desa Sepahat, Desa Tanjung Leban, dan Desa Bukit Kerikil. Dahulu kecamatan Bukit Batu dikenal dengan julukan kota “Atas Minyak, Bawah Minyak”. Saat ini, selain hutan yang luas, sebagian besar wilayah Bukit Batu berisi perkebunan karet, sawit, dan kelapa. Luas wilayah kecamatan bukit batu adalah 1.128 km². Bukit Batu memiliki garis pantai yang cukup panjang karena berada di pesisir Selat Bengkalis-Selat Malaka. Rata-rata wilayah Bukit Batu bertanah gambut dan tanah liat.

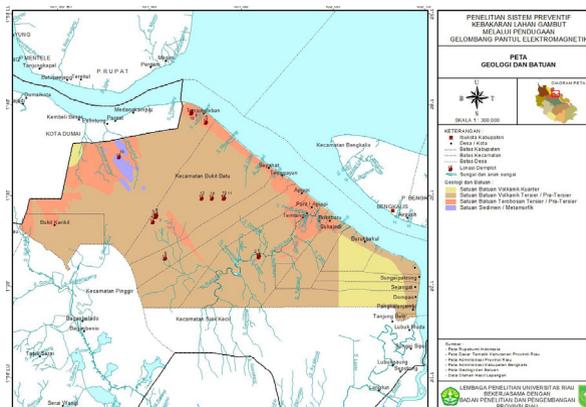
Kecamatan Bukit Batu berbatasan langsung dengan daerah sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Pulau Bengkalis, Selat Malaka, dan Kota Dumai
- Sebelah Selatan : Kecamatan Mandau, Kecamatan Siak Kecil, dan Kabupaten Siak
- Sebelah Timur : Kecamatan Merbau dan Kecamatan Bengkalis
- Sebelah Barat : Kecamatan Mandau dan Kota Dumai

Berikut diuraikan secara umum kondisi wilayah kecamatan Bukit Batu:

4.1.1 Geologi

Berdasarkan peta geologi dan batuan, sebagian besar wilayah kecamatan Bukit Batu terbentuk oleh satuan batuan vulkanik tersier / pra-tersier, yaitu di Kelurahan Sungai Pakning, Desa Sejangat, Desa Dompas, Desa Pangkalan Jambi, Desa Buruk Bakul dan di daerah pedalaman yang belum menjadi daerah pedesaan/kota. Sedangkan desa-desa yang lain terbentuk dari satuan batuan terobosan tersier / pra-tersier seperti Desa Sukajadi, Desa Bukitbatu, Desa Api-Api, Desa Parit I Api-Api, Desa Temiang, Desa Tenggayun, Desa Sepahat, Desa Tanjung Leban, dan Desa Bukit Kerikil. Di sekitar Kelurahan Sungai Pakning juga terdapat wilayah yang terbentuk dari satuan batuan vulkanik kuartar, dan di daerah sungai pelentung di dekat desa Tanjung Leban juga terdapat batuan satuan sedimen / metamorfik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **gambar 3.25** berikut:

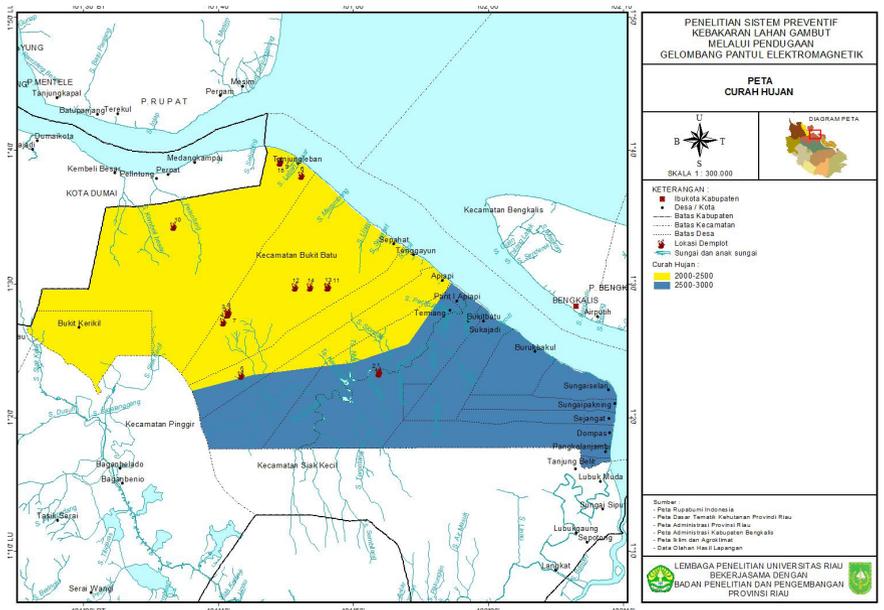


Gambar 3.19 Peta Geologi dan Batuan Kecamatan Bukit Batu

Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

4.1.2 Hujan

Curah hujan rata-rata pada wilayah kecamatan Bukit Batu khususnya di daerah kelurahan Sungai Pakning dan sekitarnya (Desa Sungai Selari, Desa Sejangat, Desa Dompas, Desa Pangkalan Jambi, Desa Buruk Bakul, Desa Sukajadi, Desa Bukit Batu, Desa Parit I Api-Api dan Desa Temiang) adalah berkisar dari 2500-3000 mm/tahun. Sedangkan untuk daerah Desa Api-Api, Tenggayun, Sepahat, Tanjung Leban, dan Desa Bukit Kerikil memiliki curah hujan yang lebih rendah yaitu berkisar dari 2000-2500 mm/tahun. Untuk lebih jelasnya mengenai curah hujan di wilayah kecamatan Bukit Batu dapat dilihat pada **gambar 3.26** berikut ini :

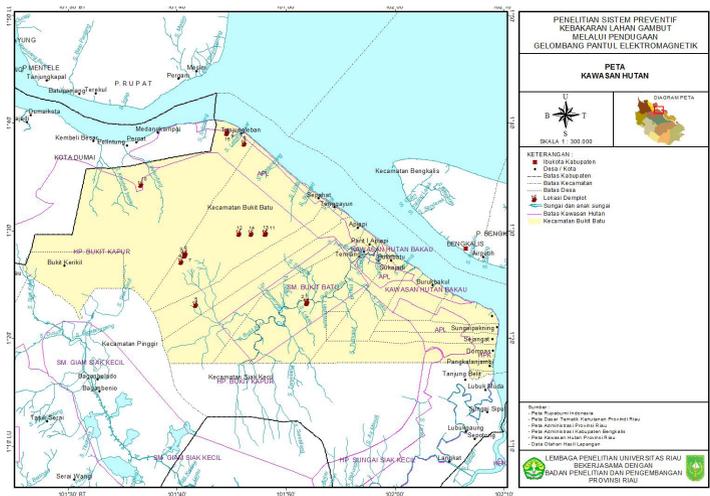


Gambar 3.20 Peta Curah Hujan Kecamatan Bukit Batu
Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

4.1.3. Hutan

Kecamatan Bukit Batu adalah daerah yang memiliki garis pantai yang panjang, hal ini tentu sangat baik untuk pertumbuhan jenis tanaman pesisir pantai seperti bakau, sehingga wilayah kecamatan Bukit Batu memiliki kekayaan hutan bakau yang banyak. Hutan bakau ini sering dimanfaatkan oleh warga sekitar untuk keperluan sehari-hari untuk bahan bangunan, kayu bakar, dan lain-lain. Adapun

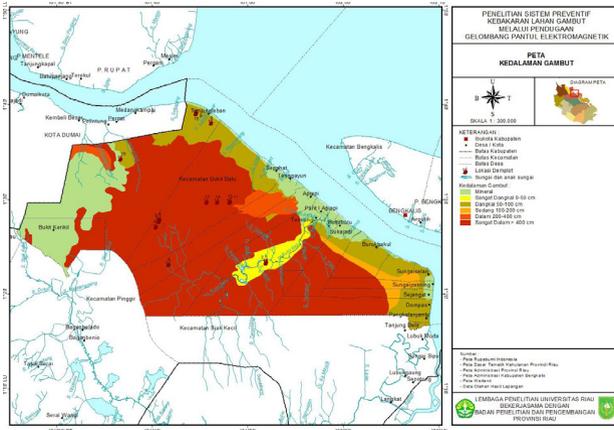
kawasan hutan di wilayah kecamatan Bukit Batu dapat dilihat pada gambar 3.27 berikut ini :



Gambar 3.21. Peta Kawasan Hutan Kecamatan Bukit Batu
 Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

4.1.4. Kedalaman Gambut

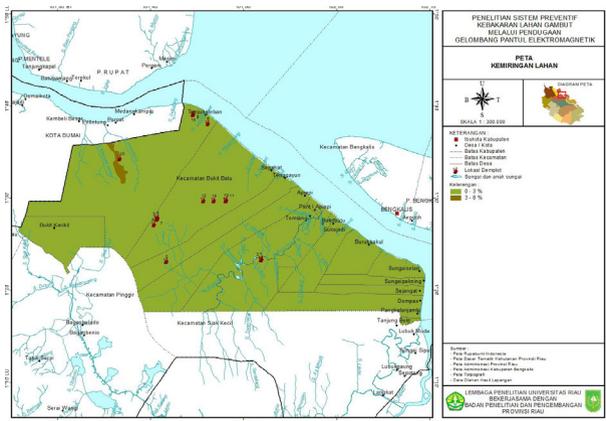
Sebagian besar wilayah Kecamatan Bukit Batu masih memiliki kedalaman gambut yang sangat dalam (>400 cm). Daerah ini juga masih belum bisa ditempati karena kedalaman gambut yang begitu dalam dimana pembangunan akan sangat sulit dilakukan dan memerlukan biaya yang sangat besar untuk dilakukan stabilisasi tanah. Untuk daerah yang bisa ditempati seperti di Kelurahan Sungai Pakning, Desa Sejangat, Desa Sukajadi, Bukit Batu, Parit I Api-Api, Temiang, Api-Api, Tenggayun, Sepahat, dan desa Bukit Kerikil, kedalaman gambut masuk kategori mineral atau tidak terdapat gambut. Sehingga pembangunan di kelurahan/desa mudah dilakukan. Sedangkan desa Dompas, Desa Pangkalan Jambi, Buruk Bakul, dan Tanjung Leban memiliki kedalaman gambut yang dangkal (50-100 cm) sehingga daerah ini masih belum padat penduduk karena pembangunan lebih sulit dilaksanakan dan memerlukan biaya yang mahal untuk stabilisasi tanah. Untuk lebih jelas mengenai kedalaman gambut di kecamatan Bukit Batu dapat dilihat pada gambar 3.28 berikut :



Gambar 3.22 Peta Kedalaman Gambut Kecamatan Bukit Batu
 Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

4.1.5. Kemiringan Lahan

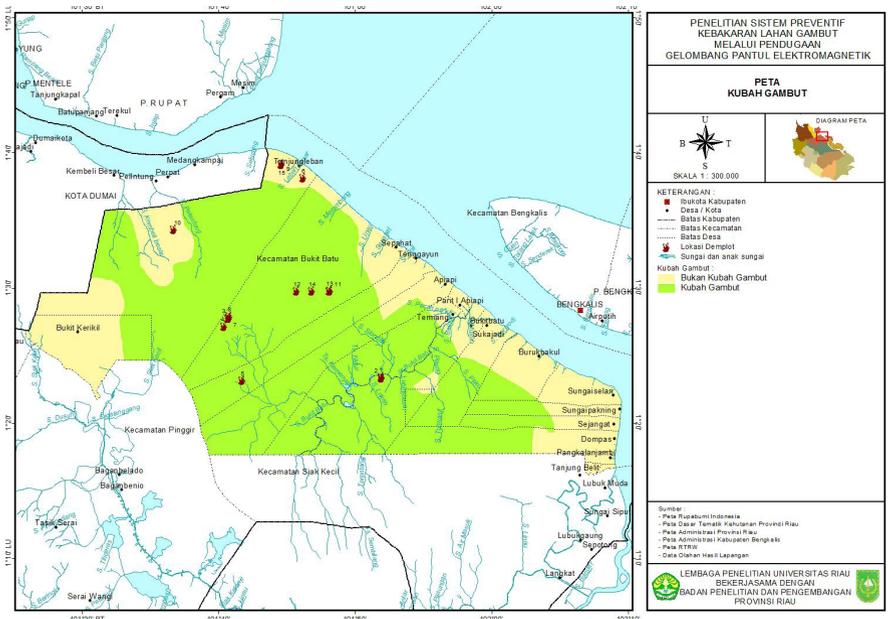
Kondisi topografi kecamatan Bukit Batu secara umum adalah relatif datar dengan elevasi berkisar antara 0-3 %. Hanya daerah di dekat sungai pelentung di desa Tanjung Leban yang mempunyai elevasi berkisar 3-8 %. Berdasarkan keadaan kemiringan lahan ini, maka pengembangan wilayah kecamatan Bukit Batu yang mempunyai kemiringan 0-3 % (datar) masuk dalam klasifikasi sangat layak bagi pengembangan semua kegiatan pembangunan dan budidaya karena kondisi tanah yang datar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **gambar 3.29**.



Gambar 3.23 Peta Kemiringan Lahan Kecamatan Bukit Batu
 Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

4.1.6 Kubah Gambut

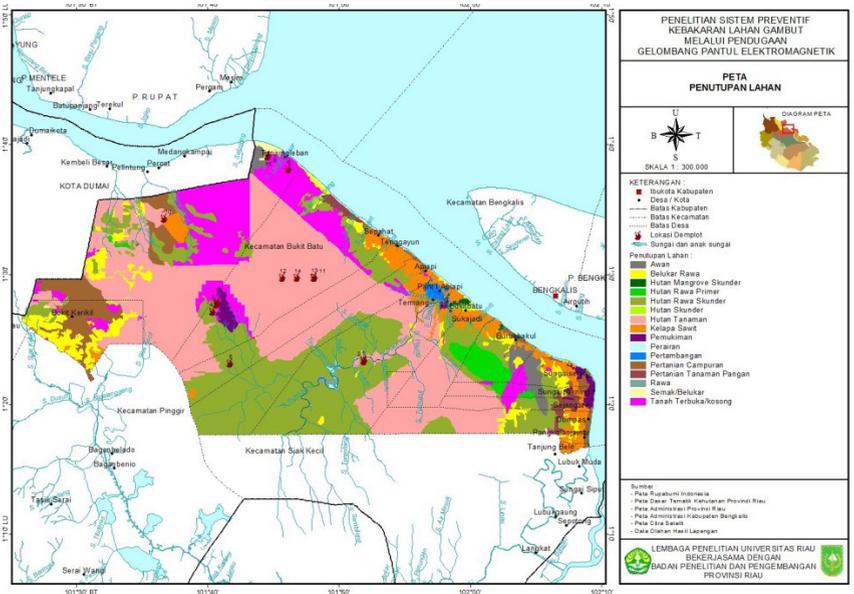
Kubah gambut adalah bagian dari ekosistem gambut yang cembung dan memiliki elevasi lebih tinggi dari daerah sekitarnya, yang berfungsi sebagai pengatur keseimbangan air. Semua Daerah kelurahan/desa di kecamatan Bukit Batu tidak memiliki kubah gambut. Kubah gambut terdapat di daerah pedalaman dari wilayah kecamatan Bukit Batu. Pada **gambar 3.30** terlihat bahwa kecamatan Bukit Batu memiliki kubah gambut yang sangat luas sehingga keberadaan kubah gambut ini harus dapat dijaga dan dipelihara serta dimanfaatkan dan dikembangkan dengan baik dan benar.



Gambar 3.24 Peta Kubah Gambut Kecamatan Bukit Batu
Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

4.1.7. Penutupan Lahan

Penutupan lahan di wilayah Kecamatan Bukit Batu dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3.25 Peta Penutupan Lahan Kecamatan Bukit Batu
 Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

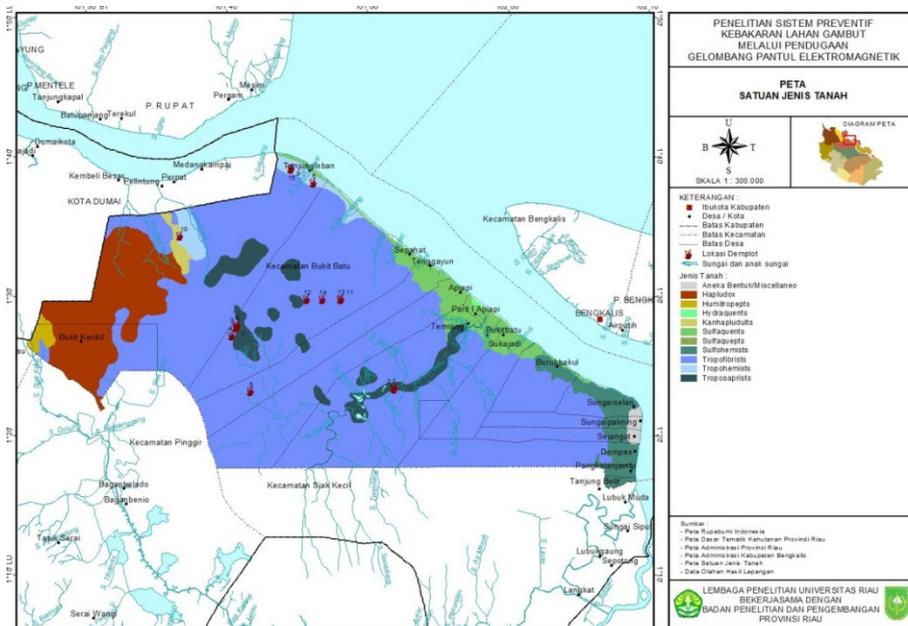
Gambar 3.31 dapat dilihat wilayah kecamatan Bukit Batu memiliki penutupan lahan berupa belukar rawa, hutan bakau sekunder, hutan rawa primer, hutan rawa sekunder, hutan sekunder, hutan tanaman, kelapa sawit, pemukiman, perairan, pertambangan, pertanian campuran, pertanian tanaman pangan, rawa, semak/belukar, dan tanah terbuka/kosong.

Daerah pemukiman adalah daerah yang ditempati oleh masyarakat kecamatan Bukit Batu yang tersebar di 1 kelurahan dan 14 desa. Dapat dilihat wilayah kecamatan Bukit Batu di dominasi oleh hutan tanaman, kemudian hutan rawa sekunder, dan masih banyak tanah terbuka/kosong yang bisa dimanfaatkan, dan kelapa sawit yang cukup banyak. Kemudian terdapat juga areal pertambangan yaitu di desa Parit I Api-api dan areal pertanian di desa Bukit Kerikil.

4.1.8 Tanah

Jenis tanah di kecamatan Bukit Batu didominasi oleh jenis tanah tropofibrists. Sedangkan untuk daerah kelurahan Sungai Pakning dan desa Sejangat diidentifikasi jenis tanah berupa aneka bentuk / miscellaneous. Sedangkan sebagian besar desa memiliki jenis tanah

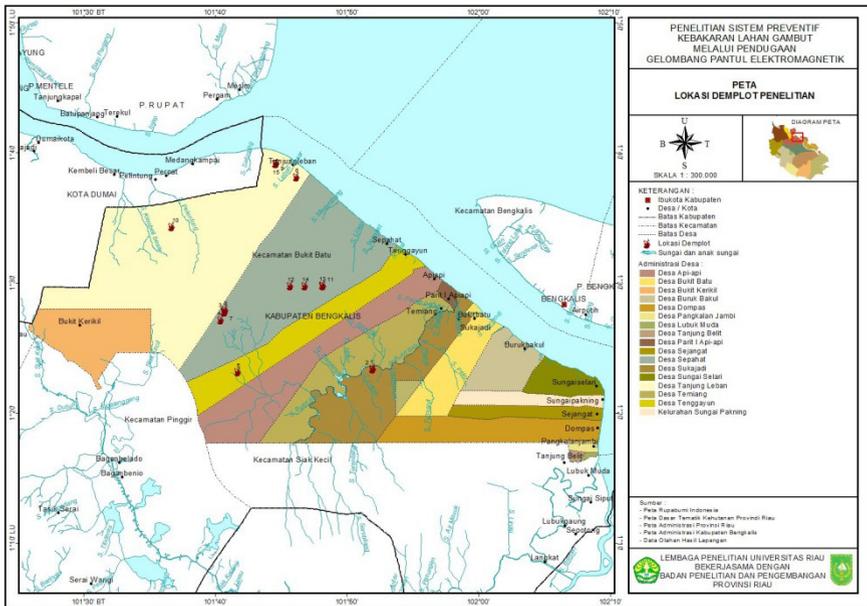
troposaprists yaitu di desa Buruk Bakul, Sungai Selari, Dompas, dan Pangkalan Jambi. Kemudian desa Sukajadi, Bukit Batu, Temiang, Parit I Api-Api, Api-Api, Tenggayun, dan Sepahat memiliki jenis tanah sulfaquepts, desa Tanjung Leban terbentuk dari tanah trophemists, dan desa DUMA Bukit Kerikil dari tanah hapludox. Untuk lebih jelas mengenai kondisi tanah di kecamatan Bukit Batu dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.26 Peta Satuan Jenis Tanah Kecamatan Bukit Batu
 Sumber : Lemlit Universitas Riau Bekerjasama dengan Balitbang Provinsi Riau

4.1.9. Lokasi Demplot

Atas dasar kondisi-kondisi di atas, maka ditentukan letak lokasi alat demplot untuk penelitian di titik-titik seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.27 Peta Lokasi Demplot Penelitian di Kecamatan Bukit Batu

3.6.1. Metodologi Kerja

Di lokasi demplot dipasang alat stasiun cuaca (*weather station*) selama periode 2014-2015. Unit-unit sensor yang bekerja pada stasiun cuaca ini (Integrated Sensor Suites) terdiri atas :

1. Alat penakar hujan
2. Pengukur arah dan kecepatan angin (anemometer)
3. Pengukur suhu udara dan kelembaban udara
4. Receiver Console (Vantage Pro 2)
5. Unit transmitter
6. Soil and Leaf Moisture Station yang terdiri atas transmitter yang berjumlah 3 buah, untuk mengukur kelembaban tanah serta kadar air tanah, dan juga sebagai sensor kelembaban

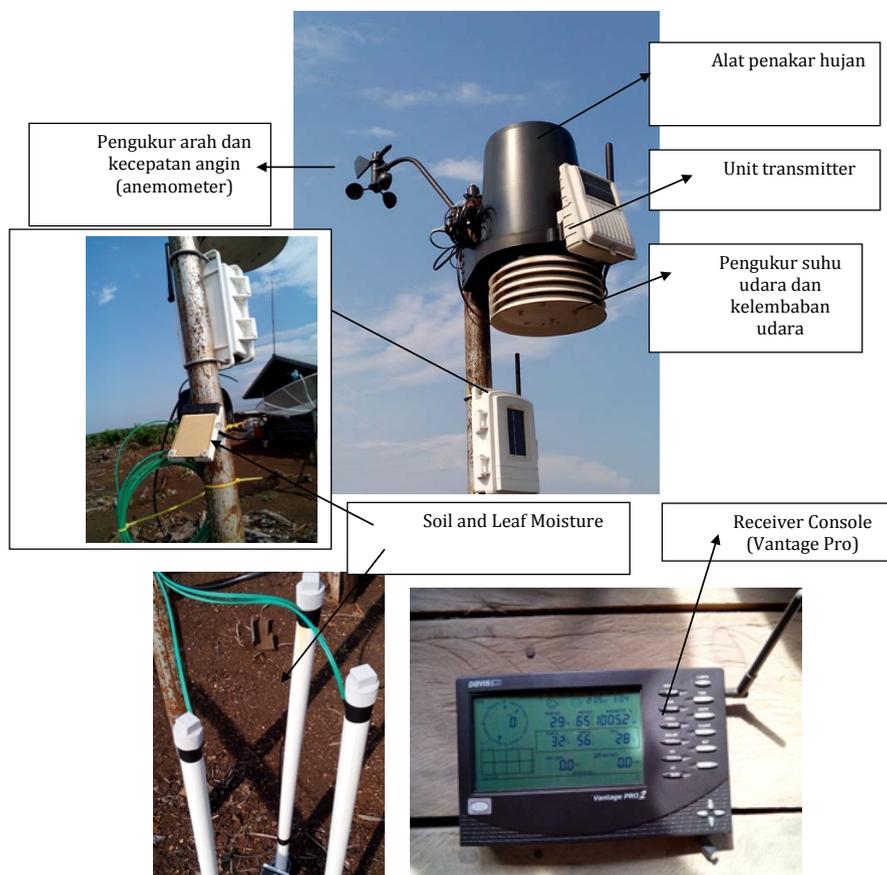
Tahapan

1. Pemasangan Integrated Sensor Suite
 Yang pertama dirangkai adalah penakar hujan, pengukur suhu udara dan kelembaban udara yang dihubungkan dengan unit transmitter, setelah itu anemometer untuk mengukur arah dan

kecepatan angin dipasangkan sehingga membentuk satu kesatuan

2. Pemasangan Soil and Leave Moisture Station

Unit transmitter dihubungkan dengan sensor yang berjumlah maksimal 3 buah, namun pada saat di lokasi hanya dipasang 3 buah. Sensor ini untuk mengukur kelembaban tanah, sensor pertama ditanam pada kedalaman 10 cm, sensor kedua 50 cm dan sensor ketiga pada kedalaman 100 cm. Untuk sensor kelembaban udara pada daun dipasang 2 buah.



Gambar 3.28. Alat di stasiun cuaca di Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau.

3.6.2. Cara Kerja Alat

Apabila sensor terkena air hujan, maka kelembaban akan meningkat dan angka yang ditunjukkan pada receiver menjadi meningkat. Data yang didapatkan berubah-ubah karena keadaan angin ataupun udara yang juga berubah. Keseluruhan data yang didapatkan di transfer dan diolah di software Weather Link, yang dioperasikan sedemikian rupa sehingga di dapatlah angka-angka dan data yang kita perlukan berupa suhu dan kelembaban udara, kecepatan angin. Sedangkan untuk kelembaban tanah dan kadar air tanah berasal dari sensor yang ditanam ditanah pada kedalaman 10 cm, 50 cm dan 100 cm, yang mana keseluruhannya akan terhubung ke transmitter yang selanjutnya diteruskan ke receiver.

Alat FDRS yang terdiri dari Integrate Sensor Suite dan Soil and Leaf Moisture Station di letakkan di lapangan terbuka dan di pagari. Sedangkan untuk receiver Vantage Pro 2 diletakkan di dalam rumah warga karena tidak boleh terkena gangguan. Anemometer akan bekerja jika terdapat angin yang akan memutar baling-baling yang berada dekat dengan penakar hujan. Untuk pengukuran suhu dan kelembaban udara komponennya berada di dalam tabung.



BAB IV MITIGASI BENCANA

Bab ini berikan 2 (dua) tinjauan utama, yaitu; kerangka fikir atau kerangka kerja (*frame work*) untuk mitigasi banjir dan bencana kebakaran di lahan gambut. Kerangka fikir untuk mitigasi banjir dalam buku ini dimulai dari identifikasi infiltrasi untuk perbedaan tutupan lahan akibat perubahan tata gunalahan, simulasi model hidrologi di daerah aliran sungai (DAS) dalam hal ini di tinjau DAS Siak, Provinsi Riau, selanjutnya dilakukan pemetaan area rawan banjir difokuskan di kota Pekanbaru sebagai ibu kota Provinsi Riau, dan usulan konservasi di DAS Siak. Sedangkan untuk kerangka fikir mitigasi kebakaran di lahan gambut ditinjau karakteristik kebakaran gambut itu sendiri, *rapid assessment* kebakaran, peringatan dini, dan tanggap darurat.

Tinjauan dimulai dari penyusunan kerangka kerja (*frame work*) untuk mitigasi banjir yang dimulai dari identifikasi kapasitas dan laju infiltrasi di berbagai tutupan lahan di DAS Siak, Provinsi Riau.

4.1. Infiltrasi

Penelitian dilakukan pada 17 lokasi yang telah ditentukan yang semuanya berada di DAS Siak.

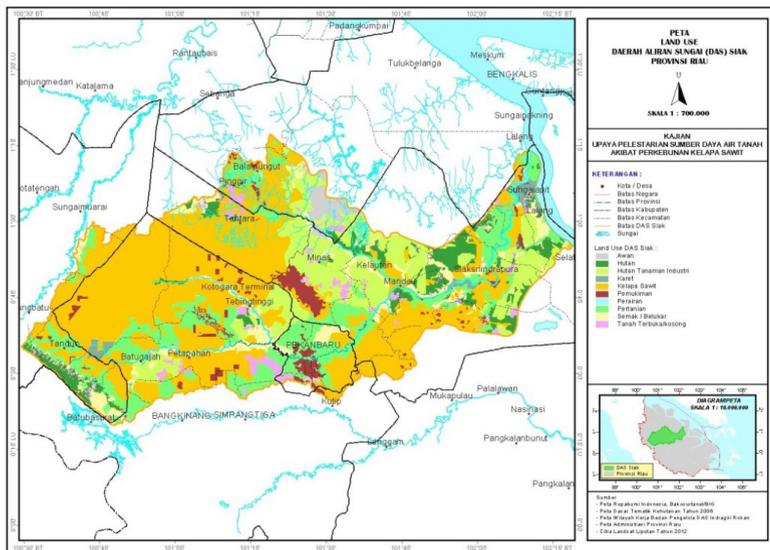
Tabel 4.1. Tata guna lahan daerah penelitian

Tata Guna Lahan	Luas (ha)	
	Tahun 2002	Tahun 2012
Hutan	15624.36	12186.32
Hutan Tanaman Industri	17054.04	12441.62
Karet	4084.8	3914.6
Kelapa Sawit	76249.6	79347.24
Pemukiman	1310.54	3386.98
Perairan	17.02	17.02
Pertanian	41937.28	41188.4
Semak Belukar	11369.36	13939.38
Tanah Terbuka	2553	3778.44
Total	170200	170200

Sumber: Analisa Data, 2014.

Tata guna lahan yang paling besar di daerah penelitian adalah wilayah kelapa sawit sebesar 45% , kemudian menyusul wilayah pertanian dengan luasan sebesar 24%.

Peta tata guna lahan tahun 2012 dapat dilihat di gambar 4.1.



Gambar 4.1. Peta tata guna lahan tahun 2012

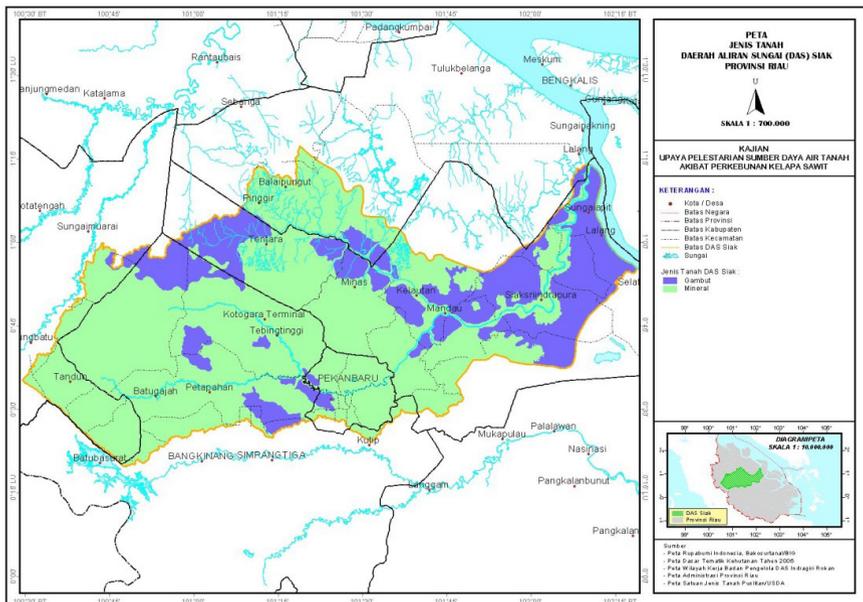
1. Data jenis tanah

Karakteristik tanah pada daerah lokasi penelitian di kelompokkan menjadi 4 berdasarkan jenis ordo. Penamaan jenis tanah menggunakan penamaan FAO yaitu Acrisol, Cambisol, Ferrasol dan Histosol. Tabel luasan tanah dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Luas jenis tanah

Jenis Tanah	Luas (ha)	Persentase (%)
Acrisol	59518.94	34.97
Cambisol	50430.26	29.63
Ferrasol	57902.04	34.20
Histosol	2348.76	1.38
Total	170200	100.00

Tanah jenis Acrisol dan Ferrasol mendominasi dengan luasan 34%. Peta jenis tanah di daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Peta Jenis Tanah

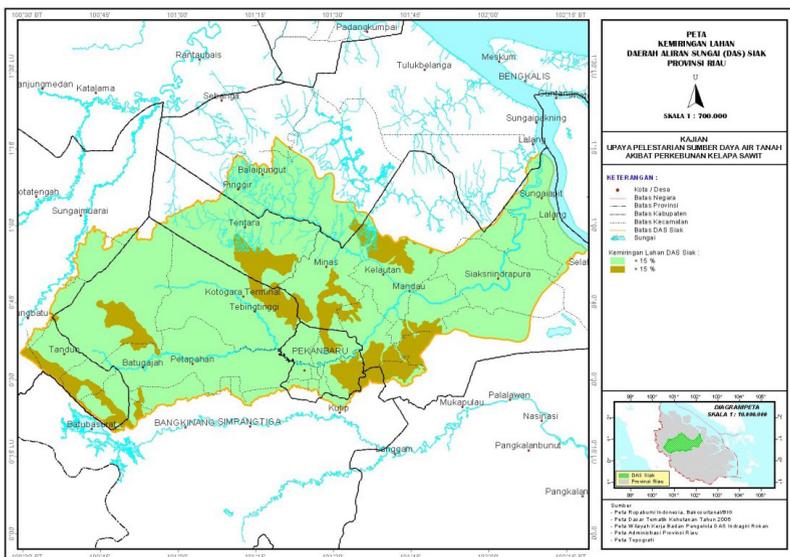
2. Kemiringan lahan

Faktor kemiringan lahan turut mempengaruhi besarnya debit yang keluar dari outlet. Lahan dengan kemiringan yang curam memiliki potensi runoff dan erosi yang tinggi. Kemiringan pada daerah penelitian dibagi menjadi 2 yaitu <15% dan >15%. Tabel kemiringan tanah dapat dilihat pada tabel 4.35 dan %. Peta jenis tanah di daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4.3. Kemiringan daerah penelitian

Kemiringan	Luas (ha)	Persentase (%)
< 15 %	145793.32	85.66
> 15 %	24406.68	14.34
Total	170200	100.00

Sumber: Analisa Data, 2014.



Gambar 4.3. Peta kemiringan tanah

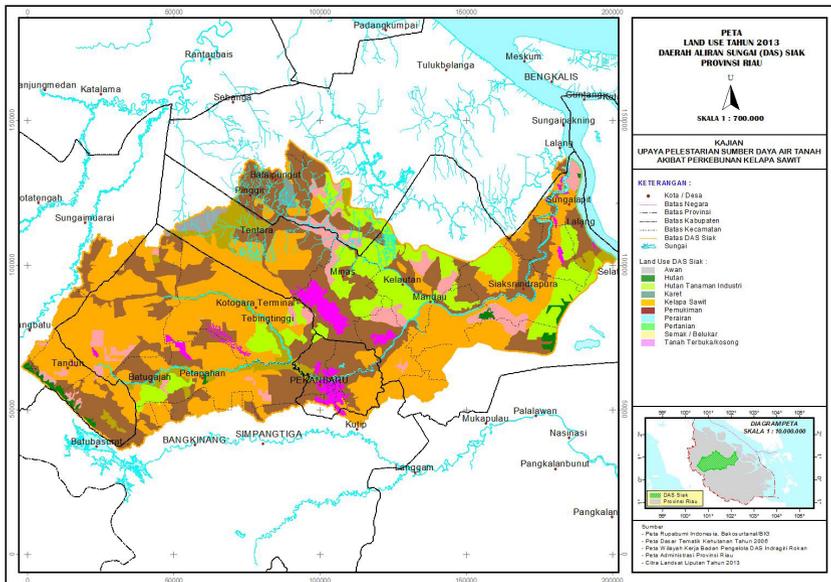
Sebagai ilustrasi diberikan contoh tinjauan pada 2 lokasi Land Unit (LU), yaitu LU 14 dengan vegetasi tutupan lahan adalah karet dan LU 17 dengan tutupan lahan adalah tanaman sawit yang telah

menghasilkan (TM). Adapun 17 lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Land Unit tutupan lahan

No	Kode	Land Unit	Nama Lokasi	Tutupan Lahan	Jenis Tanah
1	1A, 1B	14	Kasikan, Tapung Hulu, Rohul	Karet	Utisol
2	2A, 2B		Kasikan2, Tapung Hulu, Rohul	Karet	Utisol
3	3A, 3B	17	Suram, Rohul	Sawit 20 th	Utisol
4	4A, 4B		Suram2, Rohul	Sawit (TBM)	Utisol
5	5A, 5B		Terantam, Rohul	Sawit (TBM)	Utisol
6	6A, 6B	6	Terantam2, Rohul	Sawit 20 th (TM)	Utisol
7	7A, 7B	4	Kuala Tapung, Rohul	HTI Akasia	Inseptisol
8	8A, 8B	4	Kuala Tapung2, Rohul	HTI Akasia	Inseptisol
9	9A, 9B	15	Pantai cermin, Rohul	Sawit 20 th (TM)	Histisol (gambut)
10	10A, 10B	1	Sungai Limau, Siak	HTI Akasia	Histisol
11	11A, 11B	1	Sungai Limau2, Siak	HTI Akasia	Histisol
12	12A, 12B	2	Sungai Apit, Siak	Karet	Histisol
13	13A, 13B	3	Sungai Apit2	Sawit Muda (TBM)	
14	14A, 14B	3	Batu Gajah	HTI Akasia	Utisol
15	15A, 15B		Batu Gajah2	HTI Akasia	Utisol
16	16A, 16B	7	Sungai Mandau	HTI Akasia	Inseptisol
17	17A, 17B	13	Sungai Mandau2	HTI Akasia	Utisol

Adapun gambar lokasi penelitian di DAS Siak dapat dilihat di gambar berikut.



Gambar 4.4. Lokasi penelitian di DAS Siak

4.1.3 Kapasitas Infiltrasi

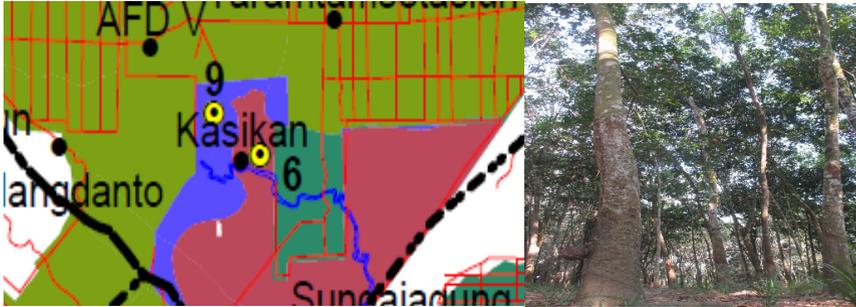
Kapasitas infiltrasi dilakukan dengan metode Horton pada 5 titik yang menghasilkan data infiltrasi lapangan yang relatif konsisten, sebagaimana tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5. Pengukuran Infiltrasi Pada Lokasi Penelitian

No	Lokasi	Titik	Koordinat	Vegatasi	Keterangan
1	Kasikan	1A	00°38'06,5" N - 100°42'52,1" E	Karet	Jarak 20 m dari Titik 1A
		1B			
2	Suka Ramai	3A	00°38'06,5" N - 100°42'52,1" E	Sawit	Jarak 20 m dari Titik 3A
		3B			
3	(Suram) Tarantam	6A	00°37'23,0" N - 100°44'22,8" E	Sawit	Jarak 50 m dari Titik 6A
		6B	00°37'23,1" N - 100°44'23,7" E		
4	Kuala Tapung	8A	00°37'51,4" N - 101°13'51,4" E	Akasia	Jarak 20 m dari Titik 8A
		8B	00°37'52,3" N - 101°13'32,1" E		
5	Pantai Cermin	9A	00°33'38,3" N - 101°12'33,9" E	Sawit	Jarak 20 m dari Titik 9A
		9B	00°33'39,2" N - 101°12'33,9" E		

a. Pengukuran Kapasitas Infiltrasi Titik 1A dan Titik 1B

Penelitian pada Titik 1A dan Titik 1B dilaksanakan di desa Kasikan, Tapung Hulu. Survey telah dilakukan pada hari Senin 27 Oktober 2014. Lokasi ini termasuk ke dalam Land Unit (LU) 14 dengan vegetasi tanaman karet. Peta lokasi penelitian Titik 1A dan Titik 1B serta penggunaan lahannya ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Lokasi Penelitian Titik 1A dan Titik 1B Serta Penggunaan Lahan Karet

Sementara itu guna mengetahui jenis tanah dimana titik pengukuran kapasitas infiltrasi, maka dilakukan pengambilan sampel tanah (lihat Gambar 4.6). Jenis tanah pada lokasi penelitian ini adalah ultisol dan kedalaman air tanah adalah 80 cm. Untuk menentukan tekstur dan warna tanah, dilakukan handbor sedalam 30 cm. Kemudian ditentukan warna tanah setiap 15 cm dengan bantuan buku Munsell.



Gambar 4.6. Pengambilan Sampel Tanah Pada Lokasi Penelitian Titik 1A

Selanjutnya setelah melakukan pengambilan sampel tanah dengan cara handboring, dilaksanakan uji infiltrasi menggunakan double ring infiltrometer yang dibuat dari pipa dimana ring besarnya diameter 10 inch dan ring kecil diameter 4 inch (lihat Gambar 4.7). Masing-

masing ring ditanamkan ditanah sedalam 5 cm. Pengamatan dilakukan dari ketinggian air 30 cm di atas permukaan tanah dan dicatat penurunannya setiap 15 menit.



Gambar 4.7. Instalasi dan Pengukuran Infiltrasi di Titik 1A

Berdasarkan pengamatan infiltrasi di titik 1A, infiltrasi dicatat setiap 5 menit dan diamati selama 3 jam. Setiap 1 jam ditambah air hingga ketinggian 30 cm, dengan demikian telah dilakukan tiga kali pengamatan. Hal tersebut digunakan untuk memperoleh nilai infiltrasi yang konstan. Hasil uji infiltrasi untuk titik 1A dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Kapasitas Infiltrasi (ft) di Titik 1A

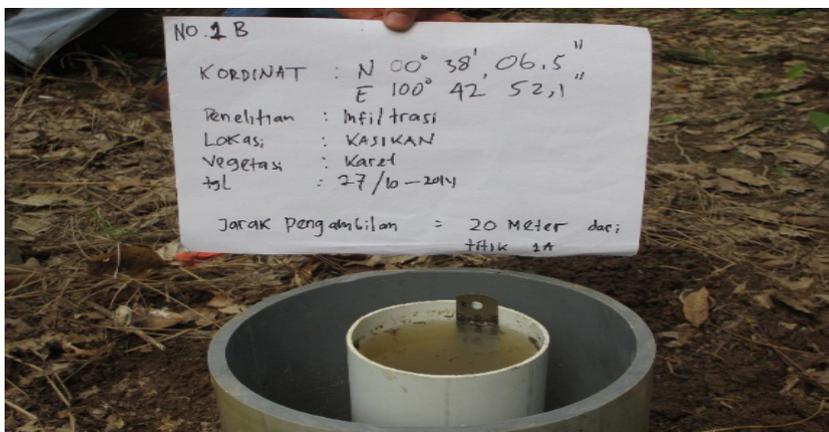
Waktu	Tahap 1		Tahap 2		Tahap 3	
	Tinggi Air	ft	Tinggi Air	ft	Tinggi Air	ft
[menit]	[cm]	[cm/menit]	[cm]	[cm/menit]	[cm]	[cm/menit]
0	30,0	0,00	30,0	0,00	30,0	0,00
5	26,5	3,50	25,6	4,40	26,4	3,60
10	23,0	3,50	23,5	2,10	24,4	2,00
15	20,3	2,70	21,6	1,90	22,9	1,50
20	18,0	2,30	20,0	1,60	21,5	1,40
25	16,0	2,00	18,5	1,50	20,0	1,50
30	14,2	1,80	16,9	1,60	18,7	1,30
35	12,5	1,70	15,8	1,10	17,5	1,20
40	11,0	1,50	14,9	0,90	16,3	1,20
45	9,60	1,40	13,4	1,50	15,3	1,00
50	8,10	1,50	12,4	1,00	14,5	0,80
55	7,20	0,90	11,5	0,90	13,7	0,80
60	6,40	0,80	10,6	0,90	12,9	1,00

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat adanya perbedaan pembacaan kapasitas infiltrasi (f_t) pada titik yang sama. Mengingat terdapat perbedaan hasil pengukuran di Titik 1A, maka dalam penelitian ini dilakukan perataan nilai kapasitas infiltrasi sebagaimana Tabel 4.7. Dari hasil perataan nilai tersebut, selanjutnya dilakukan analisa bentuk fungsional dari kapasitas infiltrasi menggunakan metode Horton.

Tabel 4.7. Nilai Rata-rata Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 1A

Waktu [menit]	Tinggi Air [cm]	ft [cm/menit]	ft [mm/menit]
0	30,0	0,00	0,0
5	26,2	3,80	38,0
10	23,6	2,50	25,0
15	21,6	2,00	20,0
20	19,8	1,80	18,0
25	18,2	1,70	17,0
30	16,6	1,60	16,0
35	15,3	1,30	13,0
40	14,1	1,20	12,0
45	12,8	1,30	13,0
50	11,7	1,10	11,0
55	10,8	0,90	9,0
60	9,9	0,90	9,0

Sedangkan hasil pengukuran lapangan pada Titik 1B metode yang dilakukan yaitu dengan pengamatan selama 15 menit dilakukan penambahan air hingga kedalaman 30 cm. Pengukuran infiltrasi di Titik 1B ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Pengukuran Infiltrasi di Titik 1B

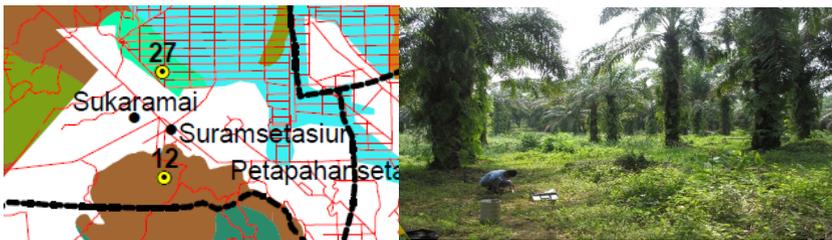
Lokasi Titik 1B berjarak sekitar 20 – 30 meter dari titik 1A. Hasil uji infiltrasinya dapat dilihat pada Tabel 4.8. Pengujian dilakukan selama 90 menit dimana mulai pada menit ke 60 hingga 90, nilai infiltrasi sudah mencapai konstan yaitu 1,0 cm.

Tabel 4.8. Nilai Rata-rata Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 1B

Waktu	ft	ft
[menit]	[cm/menit]	[mm/menit]
0	0,00	0,00
15	10,50	105,00
30	7,50	75,00
45	6,20	62,0
60	5,50	55,0
75	5,50	55,0
90	5,50	55,0

b. Pengukuran Kapasitas Infiltrasi Titik 3A dan Titik 3B

Penelitian pada titik 3A dan 3B dilakukan pada survey di hari ketiga yang berlokasi di desa Suka Ramai (Suram). Lokasi ini termasuk kedalam Land Unit (LU) 17 yang mana vegetasinya adalah sawit menghasilkan (TM). Perkebunan sawit ini adalah milik warga setempat yaitu atas nama Bapak H. Amir Hasan. Diperkirakan umur sawit mencapai ± 20 tahun.



Gambar 4.9. Lokasi Penelitian Titik 3A dan Titik 3B Serta Penggunaan Lahan Sawit



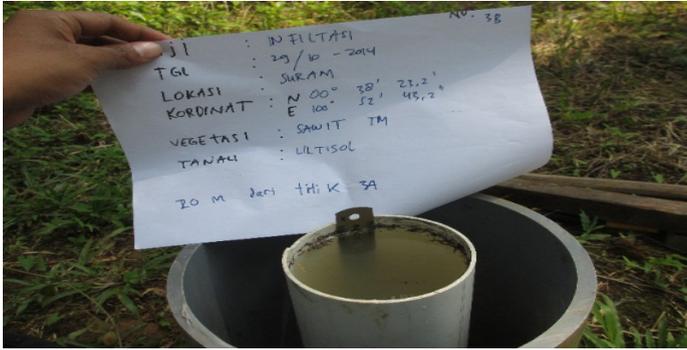
Gambar 4.10. Pengambilan Sampel Tanah dan Pengukuran Infiltrasi di Titik 3A

Jenis tanah pada lokasi ini adalah ultisol. Kondisi tanah pada saat penelitian adalah basah karena sehari sebelumnya terjadi hujan lebat. Oleh karena itu tinggi muka air tanah adalah 7 cm. Sebelum penelitian infiltrasi terlebih dahulu dilakukan uji handbor untuk menentukan tekstur dan warna tanahnya. Selanjutnya dilakukan pengamatan kapasitas infiltrasi untuk Titik 3A. Berdasarkan hasil pengamatan (Tabel 4.9), terlihat kapasitas infiltrasi yang terjadi sangat kecil, hal tersebut dipengaruhi kejadian hujan satu hari sebelumnya. Pengamatan hanya dilakukan selama 1 jam dimana dilakukan penambahan air hingga 30 cm tiap 15 menit. Mulai dari menit ke 30 hingga 60, nilai infiltrasi sudah konstan pada nilai 0,10 cm atau 1 mm. Selain faktor akibat hujan, faktor lain adalah perakaran pada sawit, untuk sawit yang sudah menghasilkan maka memiliki akar yang lebih banyak dan menyebar.

Tabel 4.9. Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 3A

Waktu [menit]	ft [cm/menit]	ft [mm/menit]
0	0,00	0,00
15	0,30	3,00
30	0,20	2,00
45	0,20	2,00
60	0,20	2,00

Titik pengukuran kapasitas infiltrasi di lapangan pada kawasan yang sama yaitu Titik 3B dimana berjarak 20 – 30 meter dari Titik 3A. Dokumentasi pengukuran pada Titik 3B ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Pengukuran Infiltrasi di Titik 3B

Perilaku sama juga diperoleh saat pengukuran kapasitas infiltrasi Titik 3B, dimana pelaksanaan pengamatan dilakukan selama 1 jam. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 4.10, setelah turun sebesar 0,5 cm pada 15 menit pertama dan konstan pada periode berikutnya.

Tabel 4. 10 Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 3B

Waktu [menit]	f_t [cm/menit]	Ft [mm/menit]
0	0,00	0,00
15	0,50	5,00
30	0,00	0,00
45	0,00	0,00
60	0,00	0,00

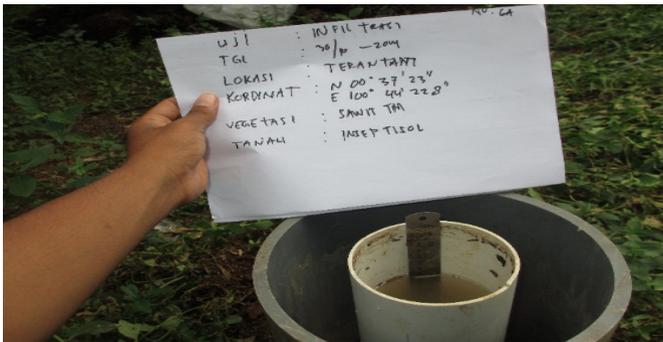
c. Pengukuran Kapasitas Infiltrasi Titik 6A dan Titik 6B

Penelitian pada titik 6A dan 6B dilakukan pada survey dihari ke-empat yang berlokasi di Terantam. Lokasi ini termasuk kedalam Land Unit (LU) 6 yang mana vegetasinya adalah sawit menghasilkan (TM). Jenis tanah pada lokasi ini berdasarkan hasil handboring adalah inceptisol. Kondisi tanah pada saat penelitian adalah lembab karena dalam lima hari terakhir terjadi hujan. Sebelum penelitian infiltrasi terlebih dahulu dilakukan uji handbor untuk menentukan tekstur dan warna tanahnya.



Gambar 4.12. Lokasi Penelitian Titik 6A dan Sampel Tanah Hasil Handboring

Selanjutnya dilakukan uji infiltrasi untuk titik 6A terlebih dahulu. Berdasarkan hasil pengamatan (Tabel 4.11), dapat dilihat pengamatan dilakukan selama 150 menit. Dimulai dari menit ke 120 hingga 150, nilai infiltrasi tetap konstan diangka 0,10 cm.

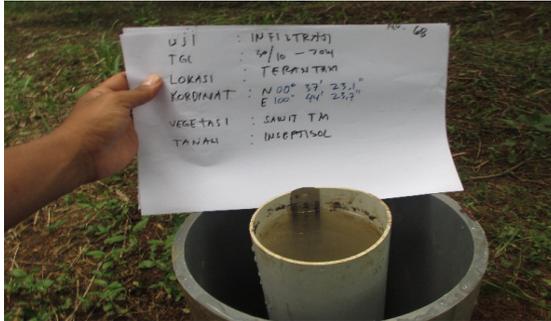


Gambar 4.13. Pengukuran Infiltrasi di Titik 6A

Tabel 4.11. Kapasitas Infiltrasi (f_i) di Titik 6A

Waktu [menit]	ft [cm/menit]	ft [mm/menit]
0	0,00	0,00
15	4,50	45,00
30	4,00	40,00
45	3,30	33,00
60	2,60	26,00
75	3,80	38,00
90	3,20	32,00
105	2,60	26,00
120	2,00	20,00
135	2,00	20,00
150	2,00	20,00

Hasil berbeda diperoleh untuk pengamatan pada Titik 6B, dimana nilai kapasitas infiltrasi pada 15 menit pertama infiltrasi lumayan laju mencapai angka 4,5 cm. Pengujian dilakukan selama 150 menit hingga diperoleh nilai konstan sebesar 0,1 cm.



Gambar 4.14. Pengukuran Infiltrasi di Titik 6B

Tabel 4.12. Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 6B

Waktu [menit]	ft [cm/menit]	Ft [mm/menit]
0	0,00	0,00
15	7,50	75,00
30	6,50	65,00
45	6,00	60,00
60	5,90	59,00
75	5,30	53,00
90	4,50	45,00
105	5,50	55,00
120	5,80	58,00
135	5,80	58,00
150	5,80	58,00

d. Pengukuran Kapasitas Infiltrasi Titik 8A dan Titik 8B

Penelitian pada titik 8A dan 8B dilakukan pada survey dihari ke-lima yang berlokasi di Kuala Tapung. Lokasi ini termasuk kedalam Land Unit (LU) 4 yang mana vegetasinya adalah HTI Akasia. Titik ini merupakan lokasi HTI pertama yang diamati selama survey berlangsung.



Gambar 4.15. Lokasi Penelitian Titik 8A dan 8B dan Penggunaan Lahan HTI (Akasia)

Jenis tanah pada lokasi ini adalah Inseptisol. Kondisi tanah pada saat penelitian adalah lembab karena dalam lima hari terakhir terjadi hujan. Tinggi muka air tanah adalah 80 cm. Sebelum penelitian infiltrasi terlebih dahulu dilakukan uji handbor untuk menentukan tekstur dan warna tanahnya (lihat Gambar 4.16).



Gambar 4.16. Pengambilan Sampel Tanah Pada Titik 8A dan Titik 8B

Selanjutnya dilakukan pengamatan infiltrasi untuk titik 8A. Pada titik ini, infiltrasi pada 15 menit pertama nilainya cukup besar yaitu 7,2 cm. Kemudian turun menjadi 5,8 cm di menit ke 30. Hingga saat pengamatan telah mencapai 150 menit, pengamatan dihentikan dan nilai konstan infiltrasi dicatat sebesar 3,1 cm. Hasil uji infiltrasi untuk titik 8A dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut ini.

Tabel 4.13. Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 8A dan Titik 8B

Waktu [menit]	F_t [cm/menit]	f_t [mm/menit]
0	0,00	0,00
15	7,20	72,00
30	5,80	58,00
45	5,70	57,00
60	5,20	52,00
75	5,50	55,00
90	4,30	43,00
105	3,80	38,00
120	3,60	36,00
135	3,10	31,00
150	3,10	31,00

Dokumentasi pengukuran kapasitas infiltrasi di Titik 8A sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17. Pengukuran Infiltrasi di Titik 8A dan Titik 8B

Sementara itu, pengambilan data kapasitas infiltrasi Titik 8B berjarak sekitar 30 – 50 meter dari Titik 8A. Pengamatan di titik ini mempunyai nilai yang sama dengan kapasitas infiltrasi Titik 8A (lihat Tabel 4.13).

e. Pengukuran Kapasitas Infiltrasi Titik 9A dan Titik 9B

Penelitian pada titik 9A dan 9B dilakukan pada survey dihari ke-lima yang berlokasi di Pantai Cermin (lihat Gambar 4.18). Lokasi ini termasuk kedalam Land Unit (LU) 15 yang mana vegetasinya adalah sawit menghasilkan (TM).



Gambar 4.18. Lokasi Penelitian Titik 9A dan Titik 9B

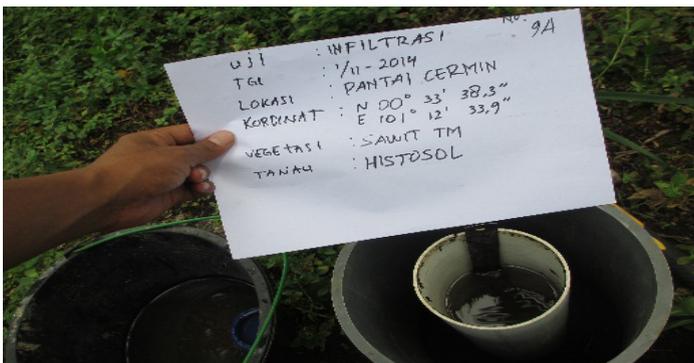
Jenis tanah pada lokasi ini adalah histosol atau gambut (lihat Gambar 4.19). Gambut dilokasi ini merupakan gambut matang dan

kondisi tanah dilokasi cukup padat. Tinggi muka air tanah adalah 70 cm. Sebelum penelitian infiltrasi terlebih dahulu dilakukan uji handbor untuk menentukan tekstur dan warna tanahnya. Dan juga diambil sampel tanah dengan ring sampel untuk dianalisis di laboratorium.



Gambar 4.19. Pengambilan Sampel Tanah Pada Titik 9A dan Titik 9B

Selanjutnya dilakukan pengamatan infiltrasi untuk Titik 9A dimana infiltrasi pada 15 menit pertama nilainya adalah 5 cm. selanjutnya turun cukup stabil sebesar 3,5 cm. Namun pada 60 hingga 90, terjadi interval yang tidak stabil atau naik turun tidak seperti biasanya dimana setiap pengisian per 15 menit selalu mengalami penurunan yang stabil. Hal ini terjadi kemungkinan akibat kesalahan saat menancapkan penggaris di dalam alat infiltrometer sehingga tanah di permukaan tertusuk dan membentuk celah baru untuk masuknya air.



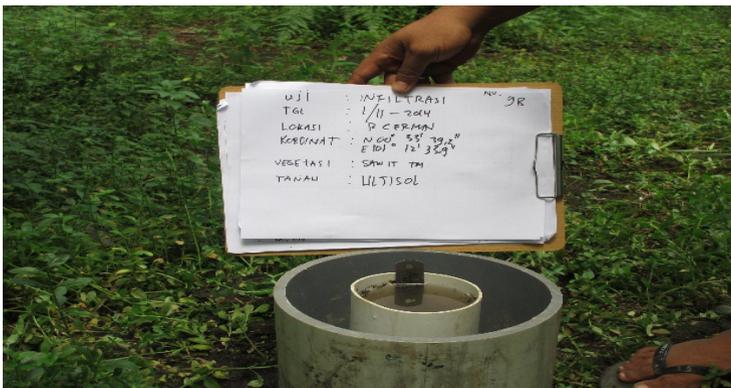
Gambar 4.20. Pengukuran Infiltrasi di Titik 9A

Pengamatan dititik 9A dilakukan selama 120 menit dimana diperoleh nilai konstan infiltrasi sebesar 1,9 cm selama 2 kali berurutan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut ini.

Tabel 4.14. Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 9A

Waktu [menit]	ft [cm/menit]	ft [mm/menit]
0	0,00	0,00
15	5,00	50,00
30	3,50	35,00
45	2,70	27,00
60	2,40	24,00
75	3,00	30,00
90	2,60	26,00
105	1,90	19,00
120	1,90	19,00

Pada titik 9B, nilai infiltrasi berbeda dengan titik sebelumnya. Pengamatan dilakukan hanya 75 menit karena pada titik ini sangat cepat mengalami kondisi konstan. Seperti yang terlihat pada Tabel 4.24, pada 15 menit pertama infiltrasi terjadi hanya sebesar 0,3 cm. Kemudian pada 15 menit berikutnya hingga akhir pengamatan di menit ke 75 infiltrasi tetap konstan di angka 0,1 cm. Sehingga nilai dicatat 0,1 cm atau 1 mm. Perbedaan seperti ini juga banyak faktor yang mempengaruhi tergantung dari sifat fisik tanah di tiap titik pengujian dan juga tergantung dari kondisi perakaran di dalam tanah, seperti pada gambar 4.21..



Gambar 4.21. Pengukuran Infiltrasi di Titik 9A

Berikut hasil pengukuran kapasitas infiltrasi di Titik 9B sebagaimana Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Kapasitas Infiltrasi (f_t) di Titik 9B

Waktu [menit]	f_t [cm/menit]	F_t [mm/menit]
0	0,00	0,00
15	0,30	3,00
30	0,10	1,00
45	0,10	1,00

Metode Horton

Model persamaan kurva kapasitas infiltrasi (Infiltration Capacity Curve, IC-Curve) yang dikemukakan Horton adalah sebagai berikut.

$$f_t = f_c + (f_o - f_c)e^{-Kt} \dots\dots\dots(4.1)$$

keterangan :

- f_t = kapasitas infiltrasi pada saat t (mm/jam)
- f_c = besarnya infiltrasi saat konstan (mm/jam)
- f_o = besarnya infiltrasi saat awal (mm/jam)
- K = konstanta
- t = waktu dari awal hujan
- e = 2,718

Untuk memperoleh nilai konstanta K untuk melengkapi persamaan kurva kapasitas infiltrasi, maka persamaan Horton diolah sebagai berikut :

$$f_t = f_c + (f_o - f_c) e^{-Kt} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$f_t - f_c = (f_o - f_c) e^{-Kt} \dots\dots\dots(4.3)$$

dilogaritmakan sisi kiri dan kanan,

$$\log (f_t - f_c) = \log (f_o - f_c) e^{-Kt} \text{ atau } \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\log (f_t - f_c) = \log (f_o - f_c) - Kt \log e \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\log (f_t - f_c) - \log (f_o - f_c) = - Kt \log e \dots\dots\dots(4.2)$$

maka,

$$t = (-1/(K \log e)) [\log (f - f_c) - \log (f_o - f_c)] \dots\dots\dots(4.2)$$

$$t = (-1/(K \log e)) \log (f - f_c) + (1/(K \log e)) \log (f_o - f_c) \dots\dots\dots(4.2)$$

Menggunakan persamaan umum liner, $y = m X + C$, sehingga :

$$y = t$$

$$m = -1/(K \log e)$$

$$X = \log (f_t - f_c)$$

$$C = (1/K \log e) \log (f_o - f_c) \dots\dots\dots(4.2)$$

Mengambil persamaan, $m = -1/(K \log e)$, maka $K = -1/(m \log e)$ atau $K = -1/(m \log 2,718)$. Dengan demikian nilai K dalam metode Horton sangat penting dan masing-masing wilayah bisa jadi menghasilkan nilai K yang berbeda. Berdasarkan hasil pengukuran lapangan tentang kapasitas infiltrasi diringkaskan bahwa untuk lokasi di titik 3A dan 3B yang berlokasi di desa Suka Ramai (Suram) serta titik 9B di Pantai Cermin tidak dapat dilakukan analisis. Kondisi saat pengukuran lapangan sangat berpengaruh, dimana pengambilan sampel dilakukan setelah terjadi hujan. Kejadian hujan mengakibatkan kondisi tanah dalam keadaan jenuh (saturated). Berikut ditampilkan analisis kapasitas infiltrasi metode Horton pada beberapa titik pengamatan lapangan :

Analisa Kapasitas Infiltrasi

Berdasarkan hasil pengukuran kapasitas infiltrasi lapangan maka dapat dilakukan analisa guna menetapkan bentuk persamaan fungsional menggunakan metode Horton. Dalam implementasi metode Horton maka variabel K (konstanta) menjadi sangat penting dalam menentukan bentuk persamaan kapasitas infiltrasi (Chow, et. al. 1988).

Sebagai contoh pembahasan adalah analisis pengukuran kapasitas infiltrasi di lapangan di Titik 1A. Dari Tabel 4.16, maka analisa dilakukan dengan menetapkan besarnya kapasitas infiltrasi konstan (f_c) dan kapaistas infiltrasi awal (f_o). Selanjutnya dihitung besarnya

nilai logaritmik dari selisih antara kapasitas infiltrasi pada saat t (f_t) dengan kapasitas infiltrasi konstan (f_c). Analisa kapasitas infiltrasi Titik 1A ditunjukkan pada Tabel 4.17.

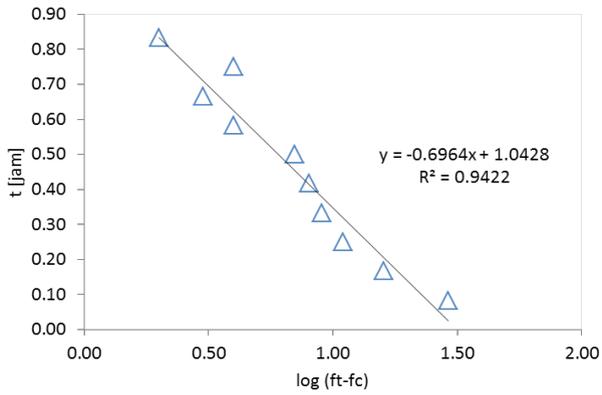
Tabel 4.16. Analisis Kapasitas Infiltrasi di Titik 1A Metode Horton

Waktu (jam)	0,00	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50
Kapasitas infiltrasi, f_t (mm/jam)	0,00	38,00	25,00	20,00	18,00	17,00	16,00
$f_t - f_c$	0,00	29,00	16,00	11,00	9,00	8,00	7,00
$\log (f_t - f_c)$	0,00	1,46	1,20	1,04	0,95	0,90	0,85

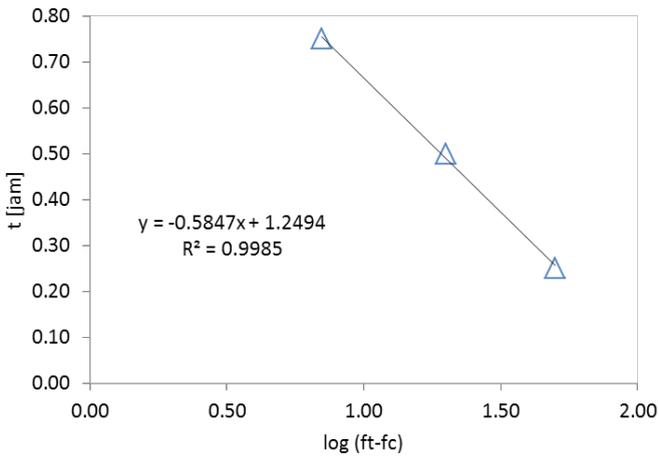
Tabel 4.17. Analisis Kapasitas Infiltrasi di Titik 1A Metode Horton (Lanjutan)

Waktu (menit)	0,58	0,67	0,75	0,83	0,92	1,00
Kapasitas infiltrasi, f_t (mm/jam)	13,00	12,00	13,00	11,00	9,00	9,00
$f_t - f_c$	4,00	3,00	4,00	2,00	0,00	0,00
$\log (f_t - f_c)$	0,60	0,48	0,60	0,30	0,00	0,00

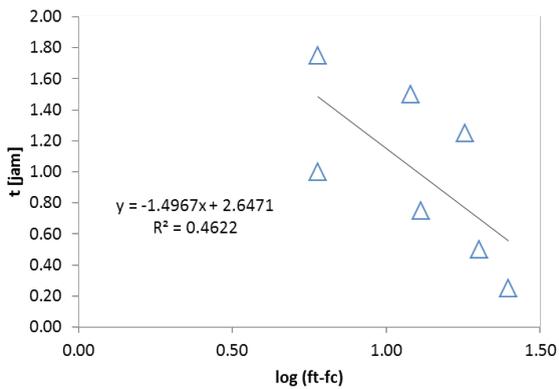
Guna memperoleh nilai K dibuatlah kurva dan dibuat persamaan liniernya menunjukkan bahwa nilai gradien, $m = -0,696$ sehingga besarnya konstanta Horton, $K = 3,309$. Dengan demikian bentuk persamaan kapasitas infiltrasi Horton di Titik 1A adalah $f_t = 9 + (38-9)e^{-3,309t}$ atau $f_t = 9 + 29.e^{-3,309t}$. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa untuk Titik 3A, Titik 3B dan Titik 9B kapasitas infiltrasi yang terjadi sangat kecil. Kegiatan pengukuran kapasitas infiltrasi saat itu dilaksanakan setelah terjadi hujan. Dengan demikian kapasitas infiltrasi di Titik 3A, Titik 3B dan Titik 9B tidak dilakukan analisis, mengingat kondisi tanah sudah dalam kondisi saturated (jenuh). Bentuk persamaan linier kapasitas infiltrasi selain Titik 1A ditampilkan sebagai berikut :



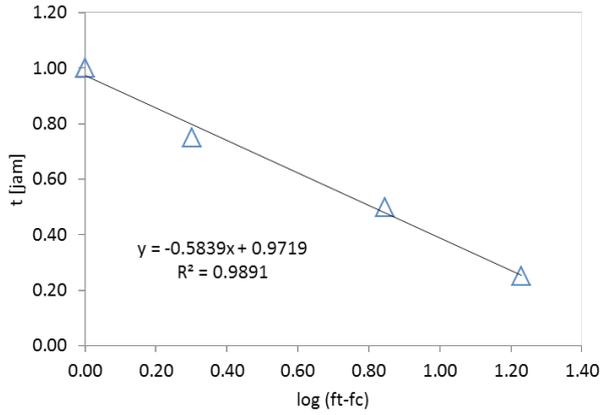
Gambar 4.22. Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 1A



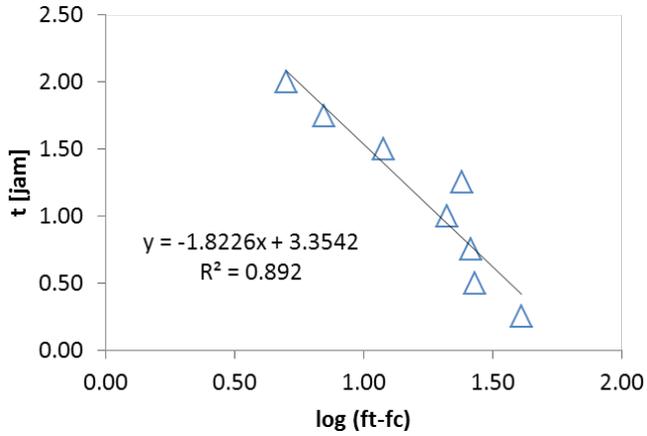
Gambar 4.23. Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 1B



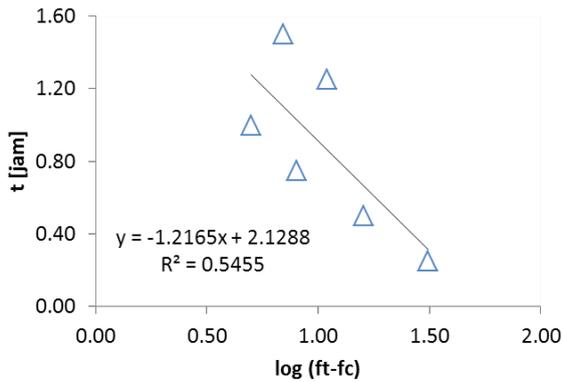
Gambar 4.24. Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 6A



Gambar 4.25. Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 6B



Gambar 4.26. Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 8A dan Titik 8B

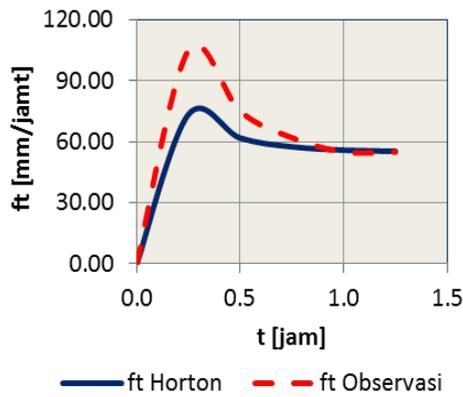
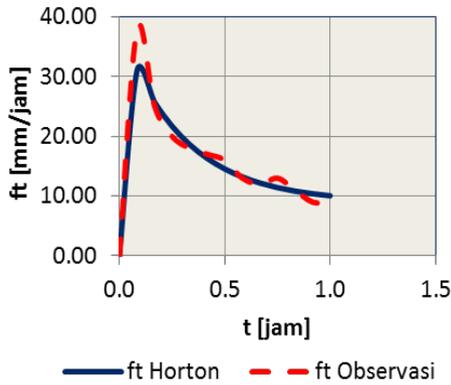


Gambar 4.27. Persamaan Linier Kapasitas Infiltrasi di Titik 9A

Berdasarkan Gambar diatas, maka nilai K dalam persamaan kapasitas infiltrasi Horton dapat dihitung dan besarnya ditampilkan pada Tabel 4.18. Perbandingan kapasitas infiltrasi metode Horton dengan observasi dapat dilihat pada Gambar 4.28.

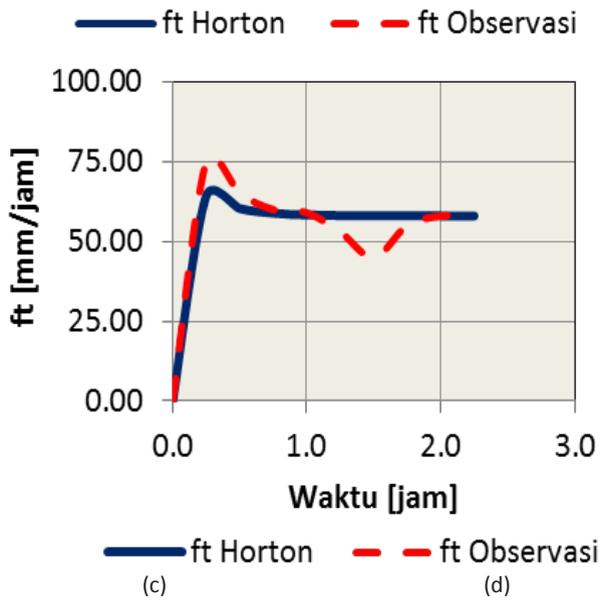
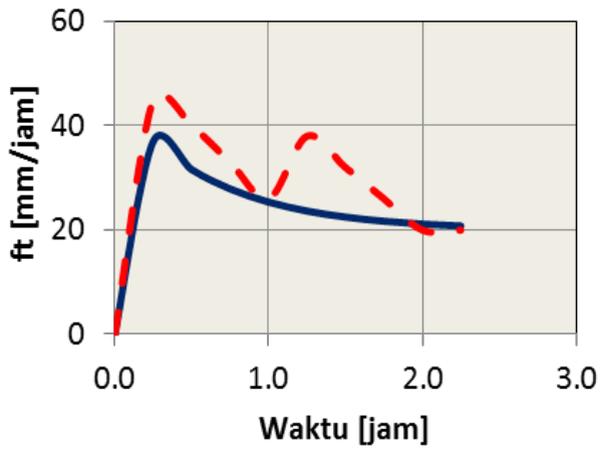
Tabel 4.18. Bentuk Persamaan Kapasitas Infiltrasi Metode Horton

Titik	Nilai K	Bentuk Persamaan
1A	3,309	$f_t = 9,0 + 29,0 \cdot e^{-3,309t}$
1B	3,970	$f_t = 55,0 + 50,0 \cdot e^{-3,970t}$
6A	1,539	$f_t = 20,0 + 25,0 \cdot e^{-1,539t}$
6B	3,970	$f_t = 58,0 + 17,0 \cdot e^{-3,97t}$
8A dan 8B	1,264	$f_t = 31,0 + 41,0 \cdot e^{-1,264t}$
9A	1,894	$f_t = 19,0 + 31,0 \cdot e^{-1,8940t}$



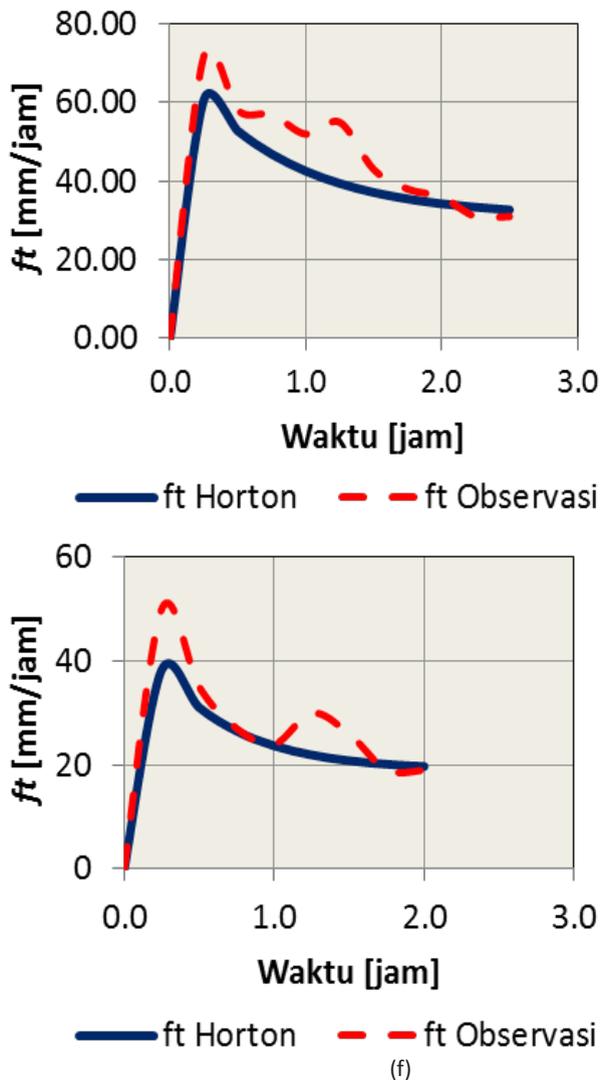
(a)

(b)



(c)

(d)



Gambar 4.28. Kurva Kapasitas Infiltrasi di (a) Titik 1A, (b) Titik 1B, (c) Titik 6A, (d) Titik 6B, (e) Titik 8A&8B dan (f) Titik 9A

Kurva kapasitas di titik dilokasi 1A, 1B, 6A, 6B, 8A, 8B dan 9A menunjukkan laju infiltrasi (mm/jam) dengan waktu (jam) sebagai berikut:

Menurut hasil observasi di titik 1B menunjukkan laju infiltrasi di 15 menit pertama setinggi 40 mm/jam, namun menurut perhitungan memakai metode Horton adalah setinggi 30 mm. Deviasi ini terjadi

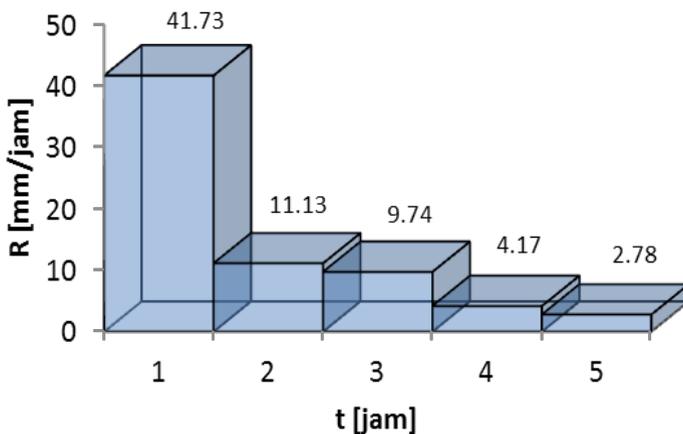
karena metode Horton membuat grafik menjadi lebih halus (smooth). Sedangkan laju infiltrasi setelah 1 jam menjadi 10 mm/jam.

Menurut hasil observasi di titik 1A menunjukkan laju infiltrasi di 15 menit pertama setinggi 100 mm/jam, namun menurut metode Horton adalah setinggi 80 mm. Sedangkan laju infiltrasi setelah 1 jam menjadi 70 mm/jam.

Untuk titik 6A, 6B, 8A, 8B dan 9A rata-rata laju infiltrasi menurut perhitungan memakai metode Horton bervariasi antara 40 sampai 70 mm/jam dan setelah 2 jam menjadi 20 sampai 60 mm/jam.

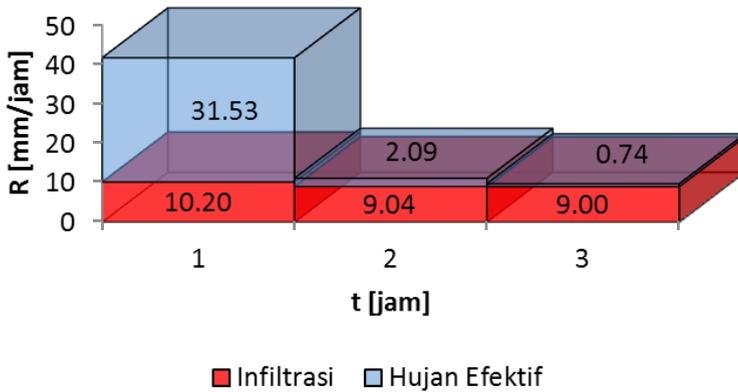
Hujan Efektif

Besarnya laju infiltrasi mempengaruhi terhadap besarnya limpasan permukaan (run off). Selisih antara hujan brutto dan laju infiltrasi dikenal dengan hujan efektif (excess rainfall). Persamaan kapasitas infiltrasi metode Horton dapat diterapkan guna estimasi besarnya hujan efektif. Sebagai contoh ditampilkan hujan rencana berbagai kala ulang berdasarkan analisa menggunakan data hujan hasil pencatatan stasiun Senapelan. Besaran hujan tahunan yang terdistribusi dalam 5 jam sebagaimana Gambar 4.29.



Gambar 4.29. Distribusi Hujan Jam-jaman Stasiun Senapelan

Dengan sebaran dan besaran hujan sebagaimana Gambar 4.29, maka berdasarkan persamaan Horton pada Tiik 1A ditetapkan besaran nilai $K = 3,309$, $f_0 = 41,73$ mm/jam dan $f_c = 9$ mm/jam. Hasil analisa besaran infiltrasi ditunjukkan pada Gambar 4.30, dimana pada jam ke-1 = 10,20 mm, jam ke-2 = 9,04 mm dan jam ke-3 = 9,00 mm.



Gambar 4.30. Distribusi Hujan dan Besarnya Laju Infiltrasi di Titik 1A

Dari Gambar 4.30 menunjukkan bahwa tata guna lahan pada kebun karet menghasilkan laju infiltrasi = 66,50% (0,67) dan limpasan permukaan = 33,50% (0,33). Jika dicocokkan dengan tabel hubungan koefisien limpasan dan tata guna lahan, maka nilai 0,33 berada di luar rentang 0,20-0,30 yaitu daerah perkebunan namun nilai tersebut tidaklah signifikan berbeda, sehingga masih dianggap berada di area tataguna lahan daerah perkebunan. Koefisien limpasan berdasarkan pada tata guna lahan dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19. Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

No	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan (C)
1	Daerah komersial/perdagangan	0,75-0,95
2	Daerah industri	0,50-0,90
3	Daerah permukiman dengan kepadatan :	
	a. Rendah, < 20 rumah/ha	0,25-0,40
	b. Sedang, 20-40 rumah/ha	0,40-0,60
	c. Tinggi, >40 rumah/ha	0,60-0,75
4	Daerah pertanian	0,45-0,55
5	Daerah perkebunan	0,20-0,30
6	Daerah kosong, datar dan kemiringan	
	a. Kemiringan < 20%	0,10-0,50
	b. Kemiringan 2% - 7%	0,10-0,15

Sumber : Haryono (1999)

4.1.3.1 Laju Infiltrasi

Infiltrasi dapat diartikan sebagai proses masuknya air ke dalam tanah sebagai akibat gaya kapiler (gerakan air ke arah lateral) dan gravitasi (gerakan air ke arah vertikal). Setelah keadaan jenuh pada lapisan tanah bagian atas terlampaui, sebagian dari air tersebut mengalir ke tanah yang lebih dalam sebagai akibat gaya gravitasi bumi dan dikenal dengan proses perkolasi. Laju maksimal gerakan air masuk ke dalam tanah dinamakan kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dalam menyerap kelembaban tanah. Sebaliknya, apabila intensitas hujan lebih kecil dari pada kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan laju curah hujan (Asdak,1995).

Proses infiltrasi ditandai dengan mengalirnya air ke dalam tanah yang disebabkan oleh gaya gravitasi bumi dan sifat kapilaritas tanah. Pada penelitian ini laju infiltrasi diukur dengan menggunakan metode double ring infiltrometer, dimana terdiri dari dua buah cincin yang terbuat dari besi baja dengan diameter yang berbeda.

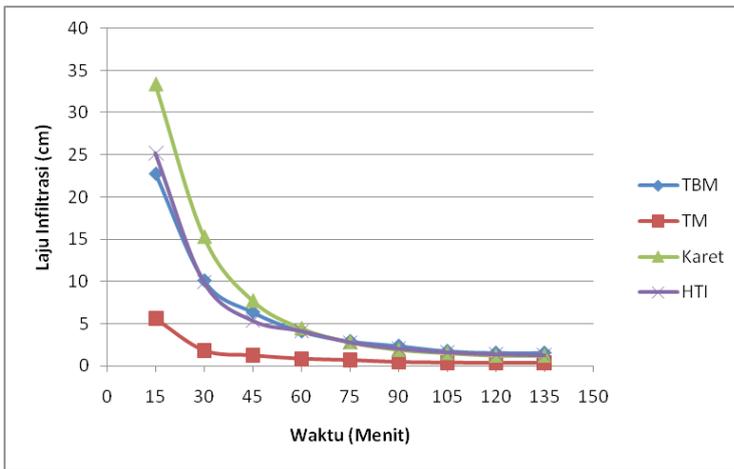
Laju infiltrasi penelitian menggunakan laju infiltrasi rata-rata untuk 3 kali ulangan untuk masing-masing tutupan lahan, yaitu tutupan lahan kelapa sawit belum menghasilkan (TBM), tanaman kelapa sawit sudah menghasilkan (TM), tutupan lahan tanaman karet, dan tutupan lahan Hutan Tanaman Industri. Rata-ratalaju infiltrasi hasil penelitian disajikan pada Tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20. Laju infiltrasi pada berbagai tutupan lahan di DAS Siak

Waktu	Kelapa sawit		Karet	HTI
	TBM	TM		
0	0	0	0	0
15	22,8	5,60	33,40	25,20
30	10,10	1,80	15,30	9,90
45	6,33	1,20	7,73	5,33
60	4,05	0,80	4,45	4,10
75	2,88	0,64	2,80	2,76
90	2,33	0,40	1,90	2,00
105	1,71	0,34	1,51	1,57
120	1,50	0,30	1,20	1,33
135	1,50	0,30	1,20	1,22

Jika diamati, laju infiltrasi makin lama makin kecil dan akhirnya akan konstan yang disebut dengan kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi dimaksudkan yaitu, kemampuan maksimal tanah untuk menyimpan air.

Menurut Asdak (1995), kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dalam menyerap kelembaban tanah. Keadaan ini disebabkan karena kelembaban tanah semakin lama semakin tinggi dan kemampuan tanah untuk menyerap air semakin berkurang. Menurut Sri Harto (1993), kelembaban tanah yang selalu berubah setiap saat juga berpengaruh terhadap laju infiltrasi. Makin tinggi kadar air dalam tanah, laju infiltrasi dalam tanah tersebut semakin kecil. Dengan demikian, dapat dimengerti bahwa kalau dalam satu jenis tanah terjadi infiltrasi, infiltrasinya makin lama makin kecil.



Gambar 4.31. Kurva Laju Infiltrasi Rata-rata pada berbagai Tutupan Lahan di DAS

Gambar 4.31 menunjukkan kurva perbandingan laju infiltrasi pada setiap tegakan tersebut. Dari kurva terlihat jelas bahwa terdapat perbedaan laju infiltrasi pada setiap tutupan lahan, dimana laju infiltrasi pada tutupan lahan Hutan Tanaman Industri aksia lebih cepat dari tutupan lainnya. Sedangkan kapasitas infiltrasi terbesar berada pada tanaman kelapa sawit belum menghasilkan. Faktor jenis tanah serta lahan yang baru ditanami oleh tanaman kelapa sawit yang masih berumur 2–3 tahun, menyebabkan kondisi ruang simpan tanah ini lebih besar dibandingkan tutupan lahan yang lain.

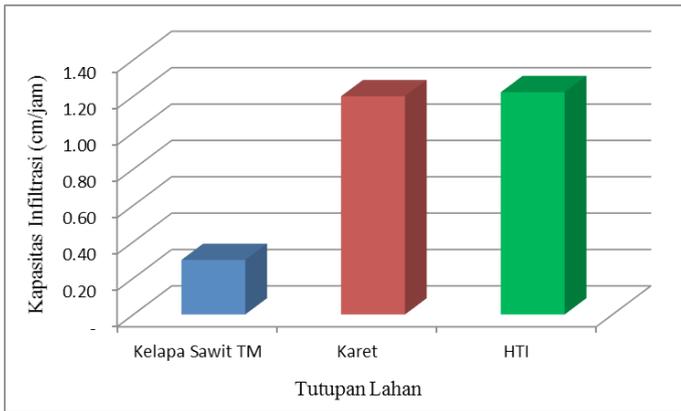
Pada Gambar 4.31 menunjukkan bahwa menurunnya laju infiltrasi seiring dengan bertambahnya waktu. Pada penelitian ini penurunan infiltrasi terjadi pada waktu laju infiltrasi konstan ada yang laju infiltrasinya rendah yang kemudian laju infiltrasinya naik lagi sehingga laju infiltrasi sering disebut dinamis. Menurut Hakim,dkk (1986), jika tanah mengalami pengeringan sebagian ruang poriakan terisi udara dan sebagiannya terisi air. Hal ini disebabkan udara mengisi ruang poritanah tersebut terhambat (terkurung) sehingga tidak dapat bergerak yang akibatnya laju infiltrasi terhambat beberapa saat, sehingga membuat laju infiltrasi tidak konstan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lee (1990), yang menyatakan bahwa berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap air dikarenakan tertutupnya pori-pori tanah.

Tutupan lahan kelapa sawit belum menghasilkan (TBM) pada menit pertama memiliki laju infiltrasi sebesar 22,8 cm/jam dengan kapasitas infiltrasi 1,50cm/jam. Sedangkan pada tutupan lahan kelapa sawit yang sudah menghasilkan dengan umur \pm 10 tahun, laju infiltrasi pada menit pertama jauh lebih lambat yaitu sebesar infiltrasinya lebih lambat 5,60 cm/jam dengan kapasitas infiltrasi adalah 0,3cm/jam. Hal ini dapat diasumsikan bahwa dengan bertambahnya kelas umur sawit, maka laju infiltrasi dari tanaman kelapa sawit semakin lambat. Penyebab terjadinya penurunan laju infiltrasi dipengaruhi beberapa faktor, yaitu sistem perakarannya kelapa sawit yang berupa serabut dan melebar ke samping. Semakin besar tanaman kelapa sawit, maka akar-akar tersebut menjadi semakin rapat apabila bertemu dengan akar dari pohon kelapa sawit sekitarnya. Faktor lain adalah adanya proses pemupukan yang dilakukan dengan interval tertentu, dapat mempengaruhi tingkat kepadatan tanah di sekitar tanaman kelapa sawit.

4.1.3.2 Perbandingan Kapasitas Infiltrasi antar 3 Tutupan Lahan

Kapasitas Infiltrasi adalah laju maksimal gerakan air masuk ke dalam tanah. Kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dalam menyerap kelembaban tanah. Sebaliknya, apabila intensitas hujan lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan laju curah hujan. Berikut ini ditampilkan gambar perbandingan kapasitas infiltrasi antara tutupan lahan kelapa

sawit menghasilkan (TM), tanaman karet dan HTI akasia.



Gambar 4.32. Kapasitas Infiltrasi Tutupan Lahan di DAS Siak

Pada Gambar 4.32 kapasitas infiltrasi dari lahan tanaman kelapa sawit, karet dan HTI akasia diperoleh hasil pengukuran nilai rata-rata kapasitas infiltrasi yang berbeda, dimana pada lahan kelapa sawit lebih kecil dibandingkan kedua tutupan lahan lainnya, yaitu 0,30, 1,20 dan 1,22 cm/jam. Tingginya kapasitas infiltrasi pada lahan karet dan HTI, dipengaruhi oleh beberapa sifat fisik dan kadar bahan organik seperti tekstur tanah, bulk density, total ruang pori, struktur, dan bahan organik dimana pada lahan jagung, kelapa sawit dan kebun campuran memiliki karakteristik sifat fisik dan kadar bahan organik tanah yang tidak berbeda jauh atau memiliki selisih nilai/perbedaan yang sedikit.

Jika dilihat dari ketiga tata guna lahan tersebut faktor yang mempengaruhi infiltrasi bahwa tata guna lahan yang lebih baik untuk meningkatkan laju infiltrasi adalah lahan karet dan HTI. Hal ini disebabkan lahan karet yang memiliki bahan organik yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan kelapa sawit, dimana peranan bahan organik tanah secara fisik adalah kemampuan tanah menahan air meningkat dengan cara meningkatkan porositas tanah dan merangsang kekuatan agregat tanah untuk saling mengikat apabila tanah memiliki bahan organik yang besar, selain itu ukuran struktur tanah yang lebih kecil sehingga memiliki laju infiltrasi yang lebih tinggi daripada tanah-tanah yang ukuran agregat tanahnya cukup besar. Hal ini sesuai literatur Hakim, dkk (1986) yang menyatakan bahwa bahan

organik adalah pemantap agregat tanah yang secara fisik menahan air meningkat dengan cara meningkatkan porositas tanah.

Hasil analisa laboratorium tanah pada bagian sub bab sebelumnya menunjukkan jika nilai bulk densitynya tinggi, maka total ruang porinya akan semakin kecil, dan jika bulk densitynya kecil, maka total ruang porinya akan semakin tinggi. Dari hasil penelitian jika ditinjau dari besarnya bulk density tanah dan total ruang poritanah, perbedaannya tidak begitu besar. Antara lahan kelapa sawit dan kebun campuran besar bulk density dan total ruang porinya hampir sama, sedangkan untuk lahan jagung hanya berbeda sedikit dengan lahan kelapa sawit dan kebun campuran. Besarnya total ruang pori tanah tersebut menunjukkan tanah tersebut gembur dan memiliki banyak ruang pori. Hal ini berarti proses penyerapan terhadap air cepat.

Pada bagian sebelumnya, Nilai laju infiltrasi yang diperoleh di setiap pengujian akan dikelompokkan kedalam Hydrologic Soil Group yang kemudian akan dijadikan input dalam program SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Berikut ini adalah tabel Hydrologic Soil Group dengan nilai yang dijadikan tolak ukur laju kapasitas infiltrasi atau nilai konstan dalam mm//jam.

Tabel 4.21. Hydrologic Soil Group

Criteria [*]	Hydrologic Soil Groups			
	A	B	C	D
Final constant infiltration rate (mm/hr)	7.6-11.4	3.8-7.6	1.3-3.8	0-1.3
Mean permeability: surface layer (mm/hr)	> 254.0	84.0-254.0	8.4-84.0	< 8.4
Mean permeability: most restrictive layer below the surface layer to a depth of 1.0 m (mm/hr)	> 254.0	84.0-254.0	8.4-84.0	< 8.4
Shrink-swell potential: most restrictive layer**	Low	Low	Moderate	High, Very High
Depth to bedrock or cemented pan (mm)	> 1016	> 508	> 508	< 508
DUAL HYDROLOGIC GROUPS	A/D	B/D	C/D	
Mean depth to water table (m)	< 0.61	< 0.61	< 0.61	

Sumber: Soil and Water Assessment Tools Input / Output File Documentation

Pada baris pertama tabel dapat dilihat kriteria Final constant infiltration yang dikelompokkan menjadi tipe A, B, C, dan D dengan range nilai yang telah ditentukan. Berdasarkan pengelompokan

tersebut maka diperoleh informasi bahwa :

- a. Kelapa Sawit Belum Menghasilkan dikelompokkan kedalam kelompok A dengan nilai konstan 15 mm/jam
- b. Kelapa Sawit Sudah Menghasilkan dikelompokkan kedalam kelompok C dengan nilai konstan 3 mm/jam
- c. Tutupan Lahan Karet dikelompokkan kedalam kelompok A dengan nilai konstan 12 mm/jam
- d. Tutupan Lahan HTI dikelompokkan kedalam kelompok A dengan nilai konstan 12,2 mm/jam

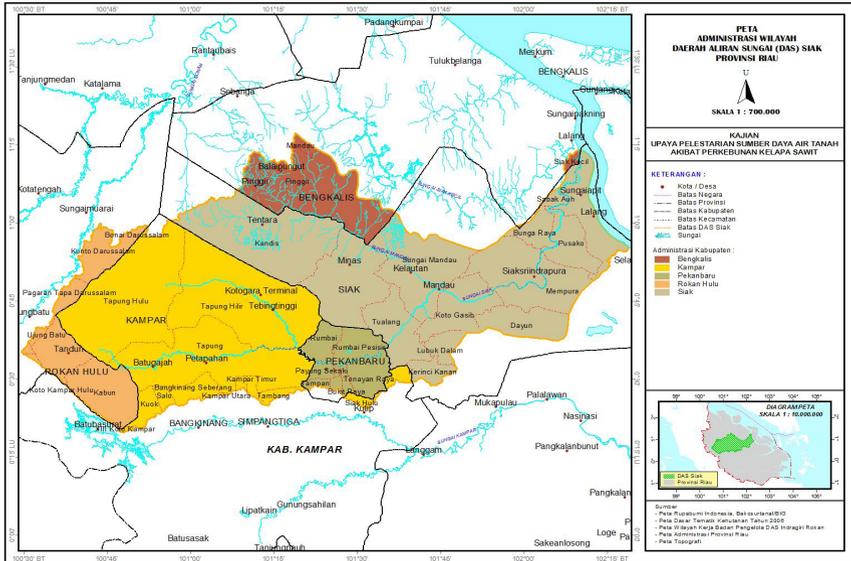
4.2 Identifikasi Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Siak Siak 2002-2012 Berdasarkan Interpretasi Citra Satelit

DAS Siak merupakan salah satu DAS yang terdapat di Provinsi Riau dengan luas 1.117.471,66 ha dan meliputi 9 wilayah administrasi Kabupaten/kota yang digambarkan pada Gambar 4.36 di bawah ini. Sejak satu dekade terakhir, isu perubahan lahan di Provinsi Riau sudah mulai terjadi. Alih fungsi (konversi) lahan dari satu peruntukan ke peruntukan lainnya hampir terjadi di seluruh wilayah Riau termasuk di DAS Siak. Pada bagian ini akan dilakukan analisis perubahan lahan berdasarkan hasil penafsiran citra landsat beberapa tahun terakhir yang diklarifikasi berdasarkan survey lapangan.

Sebagian besar konversi lahan di Provinsi Riau terjadi pada lahan hutan menjadi areal perkebunan khususnya perkebunan sawit, baik usaha perkebunan swasta maupun masyarakat. Selain itu dengan adanya pemekaran wilayah, secara tidak langsung mempengaruhi perubahan tata guna lahan di DAS Siak. Semakin berkembangnya dunia usaha seperti industri besar dan kecil, meningkatnya jumlah penduduk, secara langsung telah meningkatkan laju alih fungsi lahan.

Saat ini di DAS Siak terdapat sedikitnya 26 industri besar (14 di Kabupaten Siak dan 12 di Kota Pekanbaru) dan 2.376 industri kecil dan menengah. Industri besar antara lain PT. Chevron Pasific Indonesia (bidang perminyakan), PT. Indah Kiat Pulp and Paper, Tbk (pulp dan kertas), PT. Surya Dumai, PT. Siak Raya (pengolahan kayu) dan sebagainya. Industri kecil dan menengah berupa aneka industri, yaitu industri makanan dan minuman, logam dan elektronika, kerajinan rotan dan kayu, dan lain-lain (Depkes, 2007). Di samping industri di atas, di bagian hulu DAS Siak, terdapat sejumlah industri kelapa

sawit (CPO) yang cukup besar seperti PTP. II Tandun, PTP. V Sungai Tapung, dan PTP. II Terantan di Kabupaten Kampar, PTP. V Sungai Galuh di Kabupaten Bengkalis, dan di bagian hilir terdapat PT. Musi Mas, PT. Astra, dan PTP. II Sungai Buatan di Kabupaten Siak (PT. IKPP, 1999).



Gambar 4.33. Wilayah Administrasi Kabupaten / Kota yang termasuk ke dalam DAS Siak

Berdasarkan struktur mata pencaharian, penduduk yang tinggal di wilayah DAS Siak adalah bergerak di sektor pertanian, perdagangan, jasa, industri, konstruksi/bangunan. Sebagian besar mata pencaharian penduduk di bagian hulu sampai hilir DAS Siak yang tinggal di pedesaan pada umumnya sebagai petani, baik dari usaha tani tanaman semusim maupun perkebunan. Untuk bagian hulu ketergantungan terhadap sektor pertanian lebih besar terutama usaha tani tanaman semusim dan perkebunan rakyat yang berupa kelapa sawit, karet dan gambir. Ketergantungan penduduk terhadap sumber daya hutan juga masih sangat tinggi.

Di bagian hilir, dari arah Pekanbaru ke hilir, kehidupan sosial ekonomi masyarakat lebih beragam, berbagai kegiatan mulai dari pertambangan, pengangkutan dan industri pulp telah memicu berkembangnya kegiatan perkotaan. Kota Pekanbaru sebagai ibukota provinsi dan pusat perdagangan regional, telah mendorong tum-

buhnya pusat-pusat perdagangan di sepanjang bagian hilir Sungai Siak, seperti Kota Perawang dan Siak Sri Indrapura.

Pada Tahun 2003, berdasarkan hasil penafsiran citra landsat tahun 2003 menunjukkan luas kebun kelapa sawit menempati urutan pertama yang mendominasi tutupan lahan di DAS Siak, yaitu seluas 345.668,42 ha atau 30,93%. Lahan pertanian mempunyai luasan areal terluas kedua dengan luas 298.664,74 ha atau 26,73 %, selanjutnya luasan dominan ketiga yaitu tutupan hutan seluas 142.092,80 ha atau 12,72 % dan HTI seluas 129.714,75 ha atau 11,61 %. Luas perkebunan tanaman karet menempati urutan ke delapan dengan luas 14.019,16 ha atau 1,25 %. Selengkapnya pola tutupan lahan pada tahun 2003 sampai dengan 2013 hasil penafsiran citra landsat dapat dilihat pada Tabel 4.22 dibawah ini.

Tabel 4.22. Komposisi tata guna lahan DAS Siak dari Tahun 2003 sampai 2013

No	Keterangan	Th.2003 (Ha)	Th.2005 (Ha)	Th.2007 (Ha)	Th.2009 (Ha)	Th.2011 (Ha)	Th.2013 (Ha)
1	Awan	32.406,18	6.373,87	10.719,73	58.028,57	38.360,01	8.504,25
2	Hutan	142.092,80	75.521,57	47.505,63	21.482,90	21.482,35	10.940,46
3	Hutan Tanaman Industri	129.714,75	109.963,49	153.145,19	150.228,56	131.659,17	139.439,99
4	Karet	14.019,16	11.955,35	16.622,31	16.622,32	14.545,32	4.666,96
5	Kelapa Sawit	345.668,42	374.596,30	403.129,48	406.776,73	416.433,08	459.708,00
6	Pemukiman	28.621,73	30.959,11	30.940,24	31.017,69	31.017,69	30.828,69
7	Perairan	6.248,70	6.286,22	6.067,25	6.256,46	6.256,57	6.256,58
8	Pertanian	298.664,74	269.983,49	284.033,51	315.860,16	341.787,80	343.243,43
9	Semak / Belukar	86.926,31	85.108,50	70.768,05	59.004,95	62.952,06	51.714,75
10	Tanah Terbuka / Kosong	33.108,88	146.723,75	94.540,27	52.193,31	52.977,59	62.168,56
	JUMLAH	1.117.471,66	1.117.471,66	1.117.471,66	1.117.471,66	1.117.471,66	1.117.471,66

4.2.1. Pola Perubahan Tutupan Lahan Perkebunan

Luasan perkebunan dalam 10 tahun terakhir khususnya perkebunan kelapa sawit terus meningkat. Rata-rata penambahan luas perkebunan kelapa sawit pertahun sebesar 2,97 %. Dalam 10 tahun

terakhir luas perkebunan kelapa sawit meningkat dari 345.668,42 ha menjadi 459.708,00 ha pada tahun 2013 atau meningkat 32,99 %. Animo masyarakat terhadap perkebunan kelapa sawit, yang menurut mereka dapat menjamin dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat serta pola kerja yang tidak sebesar pengelolaan lahan pertanian, menyebabkan pertumbuhan perkebunan kelapa sawit sangat pesat. Kepastian pasar, merupakan faktor lain yang mendorong semakin berkembangnya perkebunan kelapa sawit. Dengan luasan areal DAS Siak yang tetap, yaitu 1.117.471,66ha, perubahan tutupan kelapa sawit ini memberi pengaruh signifikan terhadap perubahan tutupan lainnya.

Hasil analisis tumpang tindih menghasilkan 9 pola perubahan penutupan lahan pada Kawasan DAS Siak. Pola perubahan yang dihasilkan dibagi menjadi dua sifat, yaitu bersifat satu arah dan dua arah. Pola perubahan yang sifatnya satu arah berarti perubahan lahan tersebut tidak berubah kembali pada penggunaan semula. Sebaliknya yang memiliki sifat dua arah akan kembali menjadi penggunaan semula. Dari hasil analisis, pola perubahan yang bersifat satu arah terjadi pada :

- (1) hutan – pertanian lahan kering,
- (2) pertanian lahan kering – perkebunan,
- (3) pertanian lahan kering – lahan terbangun, dan
- (4) sawah – lahan kebun.
- (5) sawah – lahan terbangun.

Sementara yang bersifat dua arah yaitu :

- (1) sawah – pertanian lahan kering, dan
- (2) pertanian lahan kering – sawah.

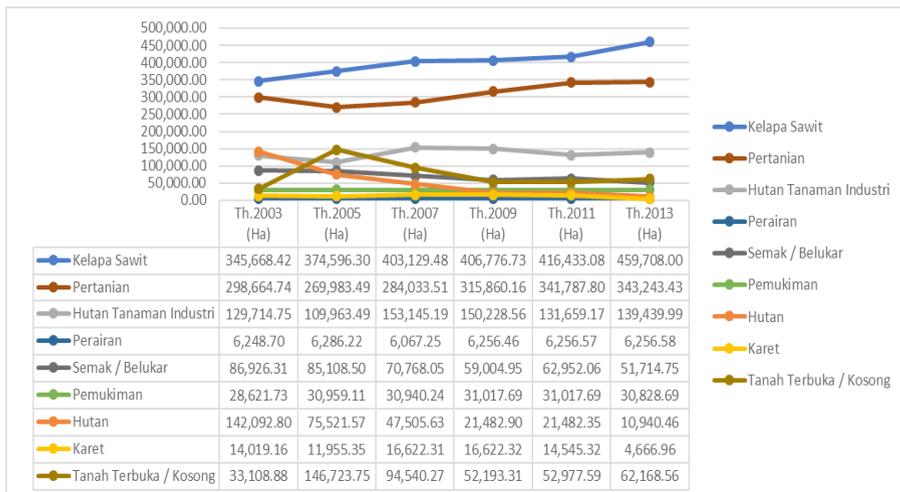
Perubahan pola penutupan lahan yang terjadi di DAS Siak mempunyai kecenderungan yang meningkat dari tahun ke tahun ke arah penggunaan yang karakteristik resapannya lebih kecil dan mengakibatkan berkurangnya fungsi konservasi dari areal DAS Siak bagian hulu. Berkurangnya luasan hutan menjadi perkebunan kelapa sawit menyebabkan fungsi hidrologis berubah dan cenderung terganggu. Hal ini akan diulas dalam pembahasan perbedaan laju infiltrasi berdasarkan tutupan lahan. Yang menjadi pembanding untuk setiap tutupan lahan pada pembahasan ini adalah perubahan tutupan lahan

perkebunan kelapa sawit yang menjadi fokus utama dalam penelitian.

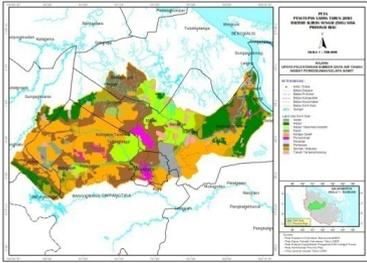
Untuk menganalisis pola tutupan lahan maka dilakukan analisis tutupan lahan dengan menggunakan peta citra landsat liputan tahun 2003, 2005, 2007, 2009, 2011 dan 2013. Pola perubahan lahan penutupan lahan DAS Siak, diperoleh melalui analisis data Citra landsat melalui metode klasifikasi terbimbing. Pola tutupan lahan yang menjadi fokus kegiatan ini adalah perubahan tutupan hutan, perubahan tutupan perkebunan kelapa sawit, perubahan tutupan perkebunan karet. Secara rinci pola tutupan lahan akan diulas berdasarkan fokus kegiatan.

Tabel 4.23. Pola Perubahan Tutupan Lahan Provinsi Riau dari Tahun 2003 Sampai 2013

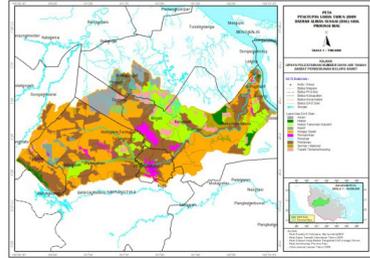
Tahun		2003	2005	2007	2009	2011	2013	Perubahan Luas Lahan	Persentase Perubahan
Luas Lahan (Ha)	Kelapa Sawit	345.668,42	374.596,30	403.129,48	406.776,73	416.433,08	459.708,00	114.039,58	33%
	Karet	14.019,16	11.955,35	16.622,31	16.622,32	14.545,32	4.666,96	-9.352,20	-67%
	Pertanian	298.664,74	269.983,49	284.033,51	315.860,16	341.787,80	343.243,43	44.578,69	15%
	Hutan	142.092,80	75.521,57	47.505,63	21.482,90	21.482,35	10.940,46	-131.152,34	-92%
	HTI	129.714,75	109.963,49	153.145,19	150.228,56	131.659,17	139.439,99	9.725,24	7%



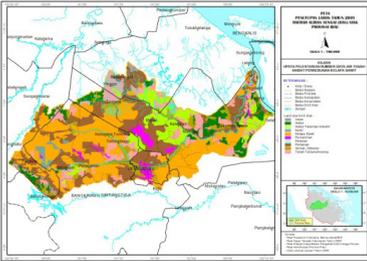
Gambar 4.34. Grafik Pola Perubahan Tutupan Lahan Provinsi Riau dari Tahun 2003 Sampai 2013



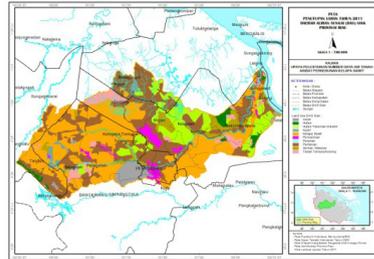
Komposisi Tutupan Lahan DAS Siak Tahun 2003



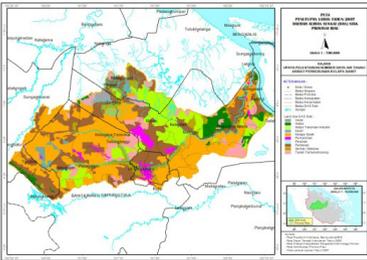
Komposisi Tutupan Lahan DAS Siak Tahun 2009



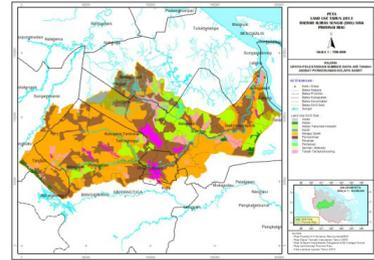
Komposisi Tutupan Lahan DAS Siak Tahun 2005



Komposisi Tutupan Lahan DAS Siak Tahun 2011



Komposisi Tutupan Lahan DAS Siak Tahun 2007



Komposisi Tutupan Lahan DAS Siak Tahun 2013

Gambar 4.35. Komposisi Tutupan Lahan DAS Siak Tahun 2003-2013

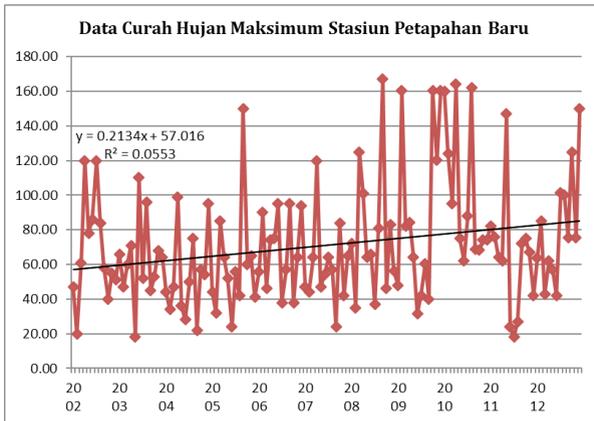
4.3. Simulasi Model Hidrologi DAS Siak dengan Aplikasi SWAT

4.3.1 Analisa Data Klimatologi

Klimatologi adalah ilmu yang mencari gambaran dan penjelasan sifat iklim. Klimatologi berasal dari bahasa Yunani kuno, klimatologi di definisikan secara ilmiah merupakan kondisi cuaca yang di rata-ratakan selama periode waktu yang panjang. Klimatologi juga mencakup aspek oseanografi dan biogeokimia. Data klimatologi digunakan untuk mempelajari dinamika cuaca dan sistem iklim untuk memproyeksi iklim.

4.3.2. Data Curah Hujan

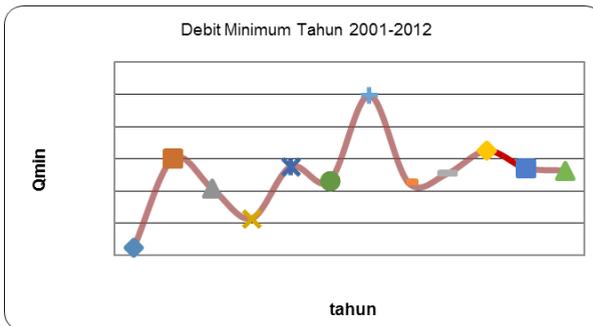
a. Maksimum



Gambar 4.35. Curah Hujan Maksimum, 2002-2013 (Sumber: Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik curah hujan maksimum Stasiun Petapahan baru periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut curah hujan maksimum yang tertinggi terjadi pada bulan September tahun 2008 (167,00 mm). Sedangkan curah hujan maksimum yang terendah terjadi pada bulan Juli tahun 2011 (18,00 mm). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=0,213x + 57,01$ dan $R^2=0,055$.

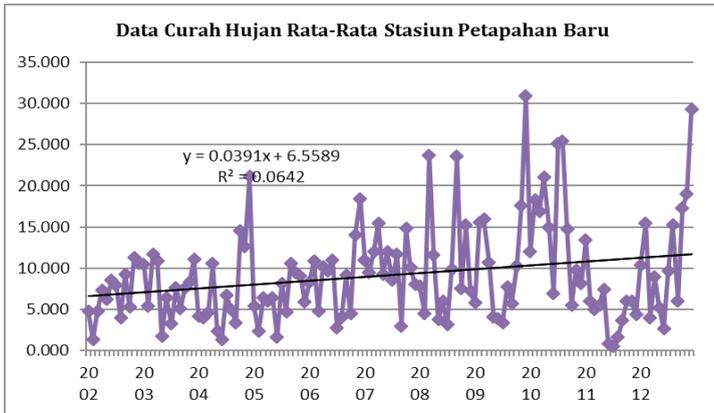
b. Minimum



Gambar 4.36. Curah Hujan Minimum, 2002-2013 (Sumber : Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik curah hujan minimum stasiun Petapahan baru periode 2002-2012. Dengan curah hujan tahunan minimum relative stabil pada level 12-15 m³/det dalam periode 2008-2012.

c. Rata-rata

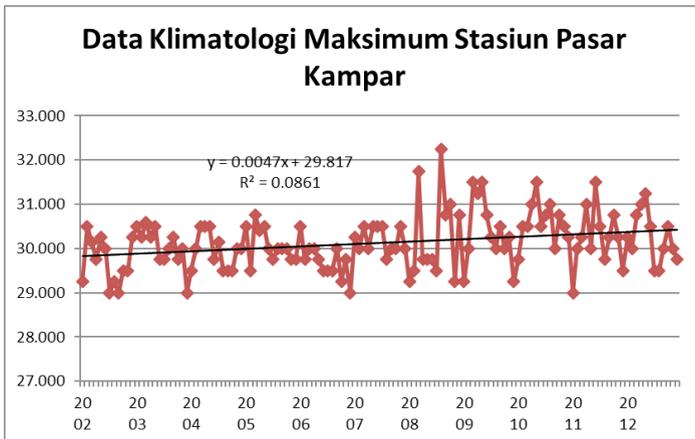


Gambar 4.37. Rata-rata Curah Hujan. 2012-1013
(Sumber: Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik rata-rata curah hujan Stasiun Petapahan baru periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut curah hujan rata rata tertinggi terjadi pada bulan Desember tahun 2009 (30,958 mm). Sedangkan curah hujan rata rata terendah terjadi pada bulan Juli tahun 2011 (0,581 mm). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=0,039x + 6,558$ dan $R^2=0,064$.

4.3.3. Data Suhu

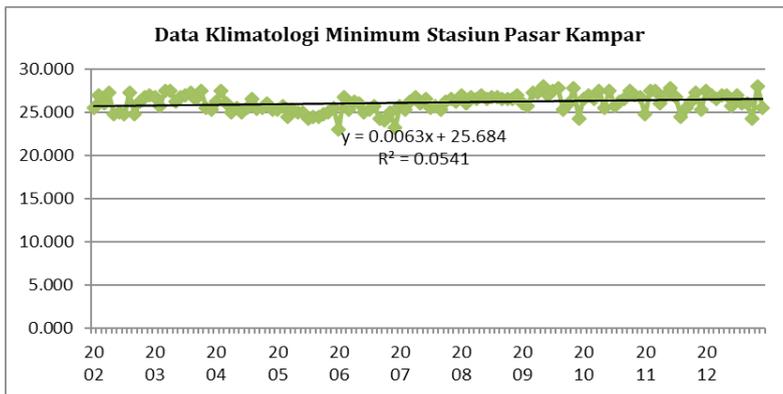
a. Maksimum



Gambar 4.38. Suhu Maksimum Pasar Kampar, 2012-2013
(Sumber: Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik suhu maksimum Stasiun Pasar Kampar periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut suhu maksimum tertinggi terjadi pada bulan Agustus tahun 2008 (32,25°C). Sedangkan suhu maksimum terendah terjadi pada bulan Juli-September tahun 2002, bulan Desember tahun 2006, bulan Januari tahun 2008, bulan Desember tahun 2009 (29°C). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=0,004x + 29,81$ dan $R^2=0,086$.

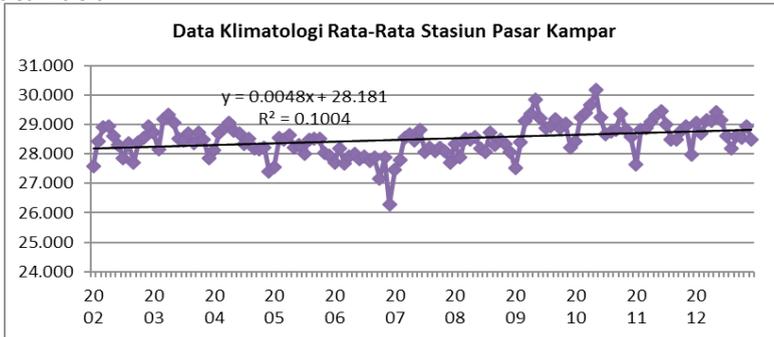
b. Minimum



Gambar 4.39. Suhu Minimum 2012-2013
(Sumber: Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik suhu minimum Stasiun Pasar Kampar periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut suhu minimum yang tertinggi terjadi pada bulan Mei tahun 2008 dan bulan November tahun 2012 (28°C). Sedangkan suhu minimum yang terendah terjadi pada bulan Januari tahun 2006 (23°C). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=0,006x + 25,68$ dan $R^2=0,054$.

c. Rata-rata

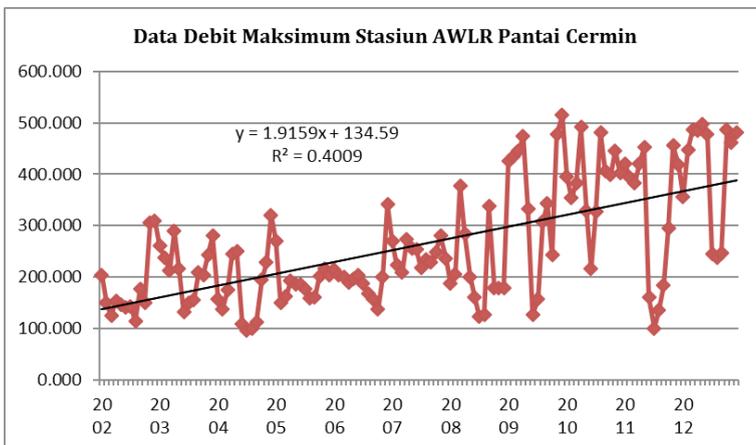


Gambar 4.40. Grafik suhu rata rata tahun 2012-2013
(Sumber: Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik suhu rata rata Stasiun Pasar Kampar periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut suhu rata rata tertinggi terjadi pada bulan Mei tahun 2010 (30,169°C). Sedangkan suhu rata-rata terendah terjadi pada bulan Desember tahun 2006 (26,27°C). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=0,004 x + 28,18$ dan $R^2=0,100$.

5.3 Data Debit

a. Maksimum

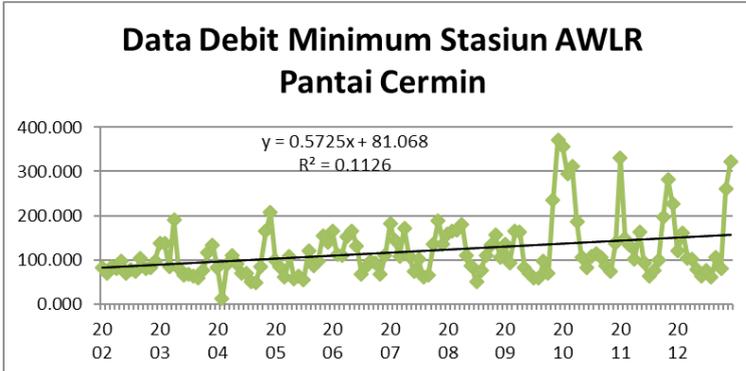


Gambar 4.41. Debit Maksimum Stasiun AWKR Pantai Cermin
(Sumber: Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik maksimum debit stasiun AWLR pantai cermin periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut debit

maksimum yang tertinggi terjadi pada bulan Desember tahun 2009 (515,00 m³/dtk). Sedangkan debit maksimum yang terendah terjadi pada bulan bulan Juli tahun 2004 (96,00 m³/dtk). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=1,915 x + 134,5$ dan $R^2=0,400$.

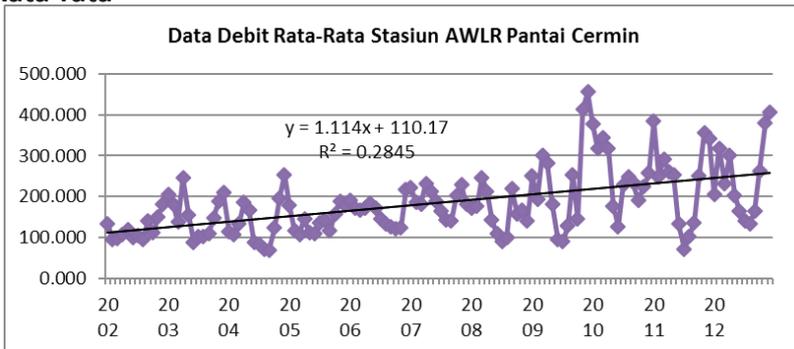
b. Minimum



Gambar 4.42. Debit Minimum Stasiun AWKR Pantai Cermin (Sumber: Analisa Data,2014)

Gambar diatas berupa grafik debit minimum stasiun AWLR pantai cermin periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut debit minimum yang tertinggi terjadi pada bulan Desember tahun 2009 (47,00 m³/dtk). Sedangkan yang terendah terjadi pada bulan bulan Februari tahun 2004 (12,00 m³/dtk). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=0,572 x + 81,06$ dan $R^2=0,112$.

c. Rata-rata



Gambar 4.43. Debit Rata-rata Stasiun AWLR Pantai Cermin (Sumber: Analisa Data, 2014)

Gambar di atas berupa grafik debit rata-rata Stasiun AWLR Pantai Cermin periode 2002-2012. Berdasarkan grafik tersebut debit rata-rata yang tertinggi terjadi pada bulan Desember tahun 2009 ($456,00 \text{ m}^3/\text{dtk}$). Sedangkan debit rata-rata yang terendah terjadi pada bulan September tahun 2004 ($68,467 \text{ m}^3/\text{dtk}$). Dari grafik ini diperoleh persamaan $y=1,114x + 110,1$ dan $R^2=0,284$.

4.3.4 Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data digunakan untuk menguji ketidakpangghahan data suatu stasiun dengan data dari stasiun itu sendiri dengan mendeteksi pergeseran nilai rata-ratanya. Adapun data yang akan diuji konsistensinya adalah data hujan dengan menggunakan metode RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums) yang diperkenalkan oleh Buishand (1982).

4.3.5 Data Hujan

Data hujan yang akan diuji konsistensi datanya diunduh dari internet melalui situs <http://globalweather.tamu.edu/>, penggunaan data satelit dikarenakan stasiun hujan yang ada di lapangan tidak ada yang masuk di dalam daerah

4.3.6 Uji Konsistensi Data Hujan

Dari koordinat area penelitian yang dijelaskan sebelumnya terdapat tiga stasiun cuaca diantaranya sebagai berikut :

1. Stasiun 51006 terletak di koordinat $0^{\circ} 28' 10,84''$ BT dan $100^{\circ} 38' 59,49''$ LU,
2. stasiun 51009 terletak di koordinat $0^{\circ} 28' 11,96''$ BT dan $100^{\circ} 56' 16,82''$ LU,
3. stasiun 51013 terletak di koordinat $0^{\circ} 28' 11,92''$ BT dan $101^{\circ} 08' 59,88''$ LU.

Masing – masing stasiun memiliki panjang data selama 15 (lima belas) tahun.

1. Stasiun 51006

Hasil perhitungan uji konsistensi data hujan stasiun 51006 disajikan dalam Tabel 4.23 berikut.

Tabel 4.24. Perhitungan Konsistensi Data Hujan Stasiun 51006 dengan Metode RAPS

No	Tahun	R_{tahunan}	$R_i - R_{\text{rerata}}$	Sk^*	Sk^{**}	Sk^{**}
1	2000	2353.717	-339.769	-339.769	-0.866	0.866
2	2001	2606.353	-87.133	-426.903	-1.088	1.088
3	2002	2582.928	-110.558	-537.461	-1.369	1.369
4	2003	2521.125	-172.361	-709.822	-1.808	1.808
5	2004	2596.209	-97.277	-807.100	-2.056	2.056
6	2005	2094.460	-599.026	-1406.126	-3.582	3.582
7	2006	2536.313	-157.173	-1563.299	-3.983	3.983
8	2007	3280.488	587.002	-976.297	-2.487	2.487
9	2008	3242.462	548.976	-427.322	-1.089	1.089
10	2009	3120.808	427.322	0.000	0.000	0.000

(Sumber : <http://globalweather.tamu.edu/dan> Hasil Perhitungan (2014).

Adapun prosedur perhitungan uji konsistensi data hujan stasiun 51006 diuraikan sebagai berikut :

1. kolom ketiga menunjukkan jumlah hujan tiap tahun pada stasiun 51006.
2. dari kolom ketiga diperoleh nilai rata – rata (R_{rerata}) dengan cara :

$$R_{\text{rerata}} = \frac{\sum (R_{\text{tahunan}})}{n} = 2553,717 \text{ m}$$

3. merujuk dari persamaan (2.3) dapat dihitung nilai standar deviasi (D_y) dengan cara :

$$D_y = \sqrt{\frac{\sum (R_{\text{tahunan}} - R_{\text{rerata}})^2}{(n-1)}} = \sqrt{154057,2} = 392,051 \text{ m}$$

4. merujuk dari persamaan (2.1) dan (2.2) berdasarkan hasil perhitungan untuk baris pertama diperoleh :

$$a. \mathcal{F}^* = \sum_{i=1}^k (R_i - R_{\text{rerata}}) = -339,769$$

$$b. \mathcal{F}^{**} = \frac{\mathcal{F}^*}{D} = -0.886$$

5. dari persamaan (2.4) dapat dihitung nilai Q dengan cara :

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} |\mathcal{F}^{**}| = 3,983$$

6. dari persamaan (2.5) dapat dihitung nilai R dengan cara :

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} |S^{**}| - \min_{0 \leq k \leq n} |S^{**}| = 3,983 - 0 = 3,983$$

7. jika dibandingkan dengan nilai kritik Q dan R dari Tabel 4.23 dengan kepercayaan 99% maka :

$$a. \quad Q_{hitungan} = \frac{Q}{\sqrt{n}} = \frac{3,983}{\sqrt{10}} = 1,260$$

$$Q_{hitungan} < Q_{kritik} = 1,260 < 1,290 \quad (\text{pangguh})$$

$$b. \quad R_{hitungan} = \frac{R}{\sqrt{n}} = \frac{3,983}{\sqrt{10}} = 1,260$$

$$R_{hitungan} < R_{kritik} = 1,260 < 1,380 \quad (\text{pangguh})$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa data hujan stasiun 51006 pangguh atau konsisten. Hasil yang sama (pangguh) juga ditunjukkan pada perhitungan uji konsistensi data hujan untuk stasiun 51009 dan stasiun 51013. Uji konsistensi data hujan stasiun 51009 dan stasiun 51013 dapat dilihat pada Lampiran 1b.

4.3.7 Perubahan Tata Guna Lahan SubDAS Tapung

Tata guna lahan di daerah lokasi penelitian telah mengalami perubahan yang cukup signifikan berdasarkan data tata guna lahan yang diperoleh dari olahan citra satelit Landsat. Perubahan tata guna lahan pada subDAS Tapung dapat dilihat pada tabel 4.24.

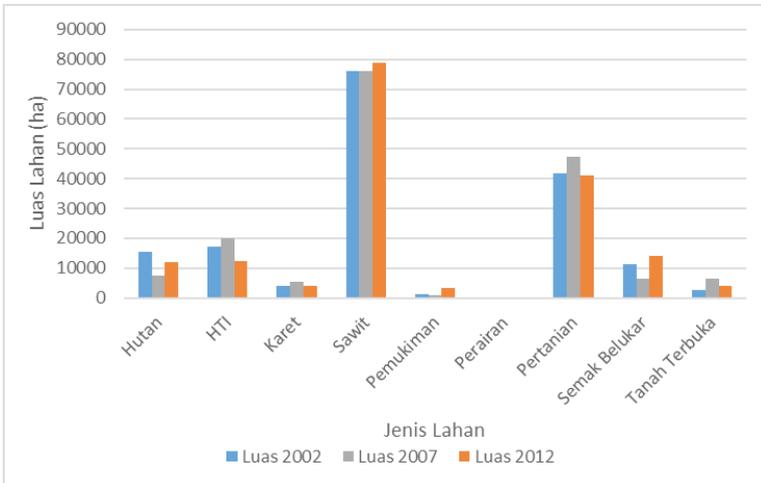
Tabel 4.25. Perubahan tata guna lahan subDAS Tapung

Tata Guna Lahan	Tahun 2002		Tahun 2007		Tahun 2012	
	Luas (ha)	Persentase (%)	T a h u n 2007	Perubahan terhadap tahun 2002 (%)	Tahun 2012	Perubahan terhadap tahun 2002 (%)
Hutan	15624.36	9.18	7352.64	-4.86	12186.32	-2.02
Hutan Tanaman Industri	17054.04	10.02	20117.64	1.80	12441.62	-2.71
Karet	4084.8	2.40	5514.48	0.84	3914.6	-0.10
Kelapa Sawit	76249.6	44.80	75960.26	-0.17	79347.24	1.82
Pemukiman	1310.54	0.77	1106.3	-0.12	3386.98	1.22
Perairan	17.02	0.01	17.02	0.00	17.02	0.00
Pertanian	41937.28	24.64	47366.66	3.19	41188.4	-0.44
Semak Belukar	11369.36	6.68	6416.54	-2.91	13939.38	1.51
Tanah Terbuka	2553	1.50	6331.44	2.22	3778.44	0.72
Total	170200	100	170200		170200	

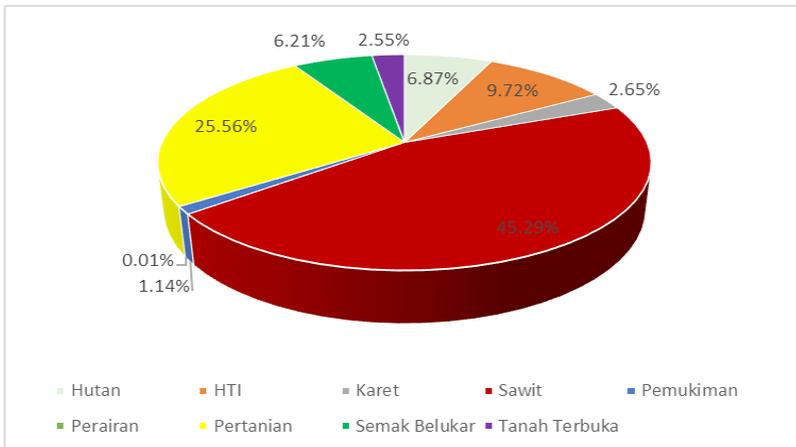
Seperti yang terlihat pada tabel 4.43 bahwa luasan hutan primer mengalami penurunan dari 15624,36 ha di tahun 2002 menjadi 7352,64 ha atau turun sebesar 4,86% pada tahun 2007 dan meningkat hingga 12186,32 ha pada tahun 2012 atau menurun sebesar 2,02% dari tahun 2002.

Perubahan luas yang signifikan juga terjadi pada Hutan tanaman industri dari tahun 2002 sebesar 17053,04 ha dan meningkat menjadi 20117,64 ha atau naik sebesar 1,80 % pada tahun 2007 dan menurun sampai 12441,62 pada tahun 2012 atau menurun sebesar 2,71 % dari tahun 2002.

Peningkatan luas tanah terbuka dan semak belukar ini dikarenakan pembukaan lahan untuk lahan perkebunan oleh masyarakat maupun industri. Perbandingan perubahan tata guna lahan dapat dilihat lebih jelas pada gambar 4.44 dan persentase penggunaan lahan dapat dilihat pada gambar 4.45.



Gambar 4.44. Perbandingan luas tata guna lahan



Gambar 4.45. Persentase tata guna lahan

4.3.8 Pemodelan Hidrologi Menggunakan SWAT

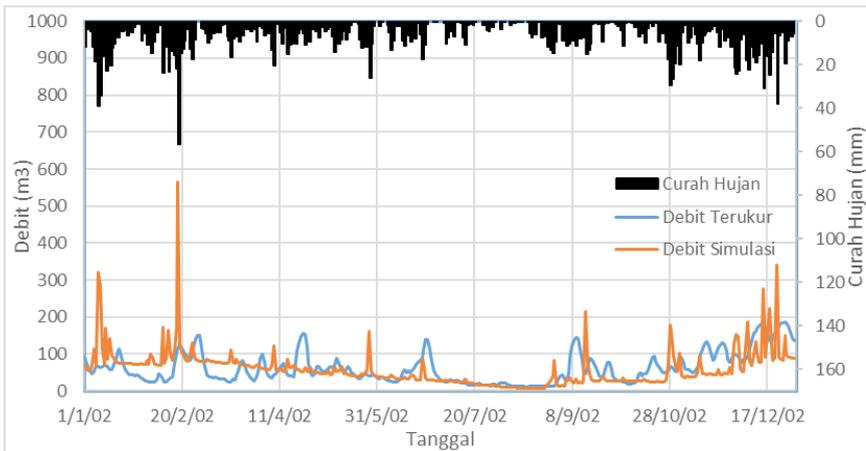
Dalam Penelitian ini data hidrologi terukur yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sumatera III (BWSIII) Provinsi Riau Bagian Hidrologi di Pekanbaru. Adapun data tersebut adalah:

1. Data satelit berupa peta digital data elevasi (DEM),
2. Data debit dari Automatic Water Level Recorder (AWLR) Stasiun Pantai Cermin,
3. Data klimatologi stasiun Buatan,
4. Data curah hujan stasiun Patapahan Baru.

4.3.8.1 Analisis Debit Dengan Tata Guna Lahan 2002

Analisis debit subDAS Tapung dilakukan menggunakan program SWAT dengan data – data yang telah dijelaskan sebelumnya, pada kondisi awal simulasi ini digunakan nilai parameter – parameter yang ditentukan oleh SWAT atau tanpa kalibrasi. Pada gambar 4.49 dapat dilihat perbandingan antara debit terukur diAWLR Pantai Cermin dengan debit simulasi. Seperti yang terlihat pada gambar, saat adanya hujan terjadi respon yang tinggi terhadap debit sungai tanpa diikuti penurunan debit secara perlahan. Hal ini menandakan pada program SWAT ketika terjadi hujan yang cukup tinggi mengakibatkan runoff yang sangat besar, jadi perlu dilakukan perubahan parameter yang berhubungan dengan limpasan agar dapat mengendalikan peningkatan debit sungai.

Namun, saat curah hujan kecil atau tidak terjadi hujan dalam waktu yang lama hasil debit simulasi lebih kecil dibandingkan debit terukur di lapangan. Hal ini menunjukkan pengolahan aliran bawah permukaan pada program SWAT masih belum sesuai dengan kondisi di lapangan, sehingga perlu dilakukan perubahan pada parameter – parameter yang berhubungan dengan aliran bawah permukaan.



Gambar 4.46. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2002 Tanpa Kalibrasi

Kalibrasi model SWAT dilakukan dengan membandingkan debit harian dari AWLR Pantai Cermin pada tahun 2002 dengan keluaran model SWAT tahun 2002, Kalibrasi dilakukan secara *semi automatic*.

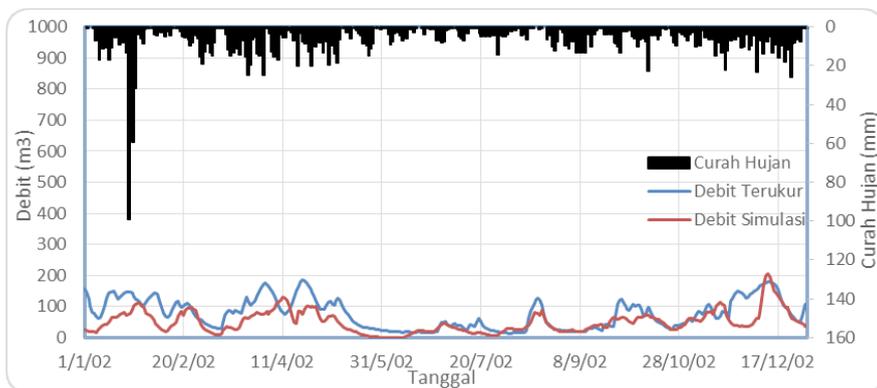
Kalibrasi dilakukan berdasarkan *range* nilai maksimum dan minimum. Pada awal proses kalibrasi, dilakukan pemasukan data berdasarkan berdasarkan *file Absolute_SWAT_Values.txt*. *File* tersebut berguna dalam mengetahui *range* nilai awal yang dianjurkan. Setelah tahap iterasi pertama dilakukan, diperoleh *range* nilai baru yang disarankan pada *new_pars.txt*, yang dapat dimasukkan kembali dalam masukan parameter. Hal ini kemudian dilakukan secara berulang hingga diperoleh nilai validitas yang diinginkan. Parameter dalam SWAT berjumlah sangat banyak (disajikan pada Lampiran 2), namun pada penelitian ini dilakukan pemasukan 24 parameter yang diperkirakan dapat mempengaruhi hasil keluaran dari simulasi secara signifikan. Pemilihan 24 parameter didasarkan pada penelitian – penelitian sebelumnya tentang kalibrasi model SWAT diantaranya kalibrasi model SWAT dan pemodelan ketersediaan permintaan air di daerah tangkapan air irigasi Gumbasa-Palu (N. Mulyana, dkk, 2011), analisis debit cidanau dengan aplikasi SWAT (I. Fadli, 2011), kalibrasi dan validasi model MW-SWAT pada analisis debit aliran sungai sub das ciliwung hulu (A. Hafid, 2011).

Pada kalibrasi tahun 2002 ini dilakukan sebanyak 3 kali iterasi dengan 750 simulasi pada tiap iterasinya. Pada iterasi pertama menghasilkan parameter dan masukan nilai yang disajikan pada tabel 4.25 dan grafik hasil kalibrasi disajikan pada Gambar 4.47.

Tabel 4.26. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi pertama

No	Parameter	Fitted_Value	Keterangan
1	R_CN2.mgt	-0.17200	SCS runoff curve number
2	V_ALPHA_BF.gw	0.48333	Baseflow alpha factor
3	V_GW_DELAY.gw	149.00000	Groundwater delay
4	V_GWQMN.gw	1030.00000	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur
5	V_REVAPMN.gw	467.00000	Threshold depth of water in the shallow aquifer for “revap” to occur
6	V_RCHRG_DP.gw	0.55000	Deep aquifer percolation fraction

7	V__GW_REVAP.gw	0.16940	Groundwater “revap” coefficient.
8	R__SOL_K(..).sol	8.52300	Saturated hydraulic conductivity.
9	R__SOL_AWC(..).sol	1.13100	Available water capacity of the soil layer.
10	R__SOL_Z(..).sol	6.45100	Depth from soil surface to bottom of layer.
11	V__CH_L1.sub	78.02000	Longest tributary channel length in subbasin.
12	V__CH_S1.sub	3.19000	Average slope of tributary channels.
13	V__CH_K1.sub	60.20000	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium
14	V__CH_W1.sub	583.75000	Average width of tributary channels (m).
15	V__OV_N.hru	0.04317	Manning’s “n” value for overland flow.
16	V__EPCO.hru	0.15667	Plant uptake compensation factor.
17	V__CANMX.hru	12.46667	Maximum canopy storage.
18	V__ESCO.hru	0.70600	Soil evaporation compensation factor.
19	V__SLSUBBSN.hru	46.30667	Average slope length
20	V__HRU_SLP.hru	0.42040	Average slope steepness
21	V__SURLAG.bsn	12.79133	Surface runoff lag time.
22	V__CH_K2.rte	173.00000	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium.
23	V__CH_N2.rte	0.20390	Manning’s “n” value for the main channel.
24	V__ALPHA_BNK.rte	0.82067	Baseflow alpha factor for bank storage.



Gambar 4.47. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi Pertama

Selanjutnya kalibrasi dilanjutkan hingga mencapai nilai validitas yang diinginkan. Parameter dan masukan nilai akhir yang digunakan pada proses kalibrasi akhir disajikan pada tabel 4.26.

Tabel 4. 27 Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi akhir

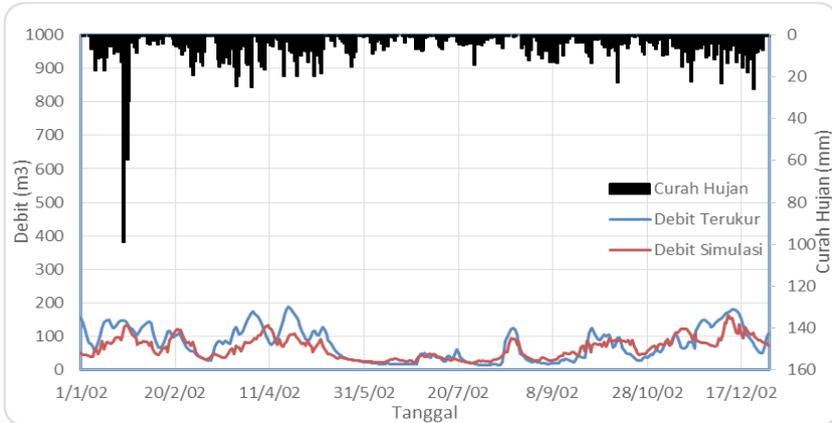
No	Parameter	Fitted_Value	Keterangan
1	R_CN2.mgt	-0.18862	SCS runoff curve number
2	V_ALPHA_BF.gw	0.56636	Baseflow alpha factor
3	V_GW_DELAY.gw	31.59235	Groundwater delay
4	V_GWQMN.gw	1121.27686	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur
5	V_REVAPMN.gw	236.52802	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur
6	V_RCHRG_DP.gw	0.36040	Deep aquifer percolation fraction
7	V_GW_REVAP.gw	0.10874	Groundwater "revap" coefficient.
8	R_SOL_K(..).sol	11.30848	Saturated hydraulic conductivity.
9	R_SOL_AWC(..).sol	-2.76595	Available water capacity of the soil layer.
10	R_SOL_Z(..).sol	8.83791	Depth from soil surface to bottom of layer.

11	V__CH_L1.sub	40.19984	Longest tributary channel length in subbasin.
12	V__CH_S1.sub	4.01316	Average slope of tributary channels.
13	V__CH_K1.sub	18.78895	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium
14	V__CH_W1.sub	515.74976	Average width of tributary channels (m).
15	V__OV_N.hru	0.40164	Manning's "n" value for overland flow.
16	V__EPCO.hru	0.17635	Plant uptake compensation factor.
17	V__CANMX.hru	7.25117	Maximum canopy storage.
18	V__ESCO.hru	0.94749	Soil evaporation compensation factor.
19	V__SLSUBBSN.hru	71.26617	Average slope length
20	V__HRU_SLP.hru	0.22614	Average slope steepness
21	V__SURLAG.bsn	12.94072	Surface runoff lag time.
22	V__CH_K2.rte	274.22974	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium.
23	V__CH_N2.rte	0.12332	Manning's "n" value for the main channel.
24	V__ALPHA_BNK.rte	0.80808	Baseflow alpha factor for bank storage.

Nilai masukan tersebut memberikan hasil validitas R^2 sebesar 0.55, dan NS sebesar 0.48 untuk debit harian dengan hasil pengujian validitas disajikan dalam tabel 4.27 dan grafik hasil kalibrasi yang disajikan pada Gambar 4.49.

Tabel 4. 28 Parameter Evaluasi Validitas Model SWAT

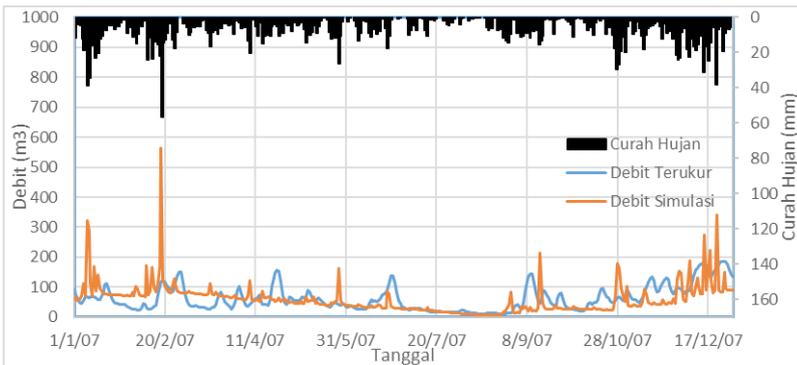
No	Parameter	Batasan (Range)	Nilai	Keterangan
1	Koefisien determinasi (R^2)	$0,4 < R^2 < 0,7$	0,55	Pengaruh substansial
2	Nash-sutcliffe efficiency (NS)	$0,36 < NS < 0,75$	0.48	Memenuhi



Gambar 4.48. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi akhir

4.3.8.2 Analisis Debit Dengan Peta Tata Guna lahan Tahun 2007

Pada kondisi awal simulasi ini digunakan nilai parameter – parameter yang ditentukan oleh SWAT atau tanpa kalibrasi. Pada gambar 4.49 dapat dilihat perbandingan antara debit terukur di AWLR Pantai Cermin dengan debit simulasi.



Gambar 4.49. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2007 Tanpa Kalibrasi

Kalibrasi model SWAT dilakukan dengan membandingkan debit harian dari AWLR Pantai Cermin pada tahun 2007 dengan keluaran model SWAT tahun 2007, Kalibrasi dilakukan secara *semi automatic*.

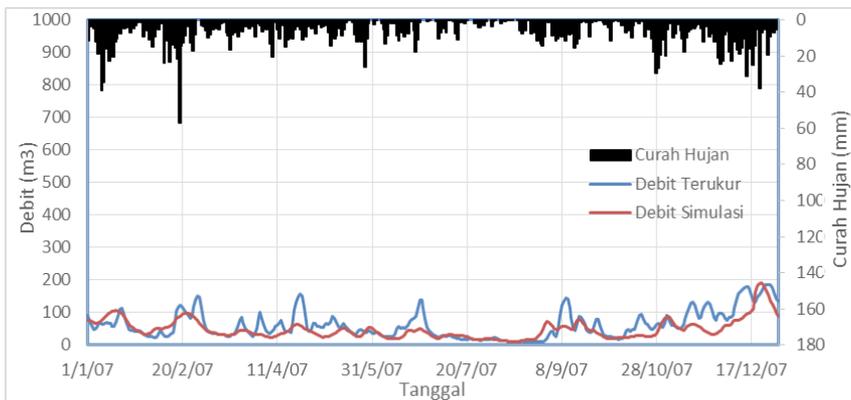
Langkah-langkah kalibrasi sama seperti yang telah dilakukan sebelum-sebelumnya, Pada kalibrasi tahun 2007 ini dilakukan sebanyak 3 kali iterasi dengan 750 simulasi pada tiap iterasinya. Pada it-

erasi pertama menghasilkan parameter dan masukan nilai yang disajikan pada tabel 4.28 dan grafik hasil kalibrasi disajikan pada Gambar 4.51.

Tabel 4.29. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi pertama

No	Parameter	Fitted_Value	Keterangan
1	R__CN2.mgt	0.18440	SCS runoff curve number
2	V__ALPHA_BF.gw	0.39300	Baseflow alpha factor
3	V__GW_DELAY.gw	168.17999	Groundwater delay
4	V__GWQMN.gw	435.00000	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur
5	V__REVAPMN.gw	250.50000	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur
6	V__RCHRG_DP.gw	0.07900	Deep aquifer percolation fraction
7	V__GW_REVAP.gw	0.14523	Groundwater "revap" coefficient.
8	R__SOL_K(..).sol	10.57150	Saturated hydraulic conductivity.
9	R__SOL_AWC(..).sol	0.89650	Available water capacity of the soil layer.
10	R__SOL_Z(..).sol	7.97350	Depth from soil surface to bottom of layer.
11	V__CH_L1.sub	164.09000	Longest tributary channel length in subbasin.
12	V__CH_S1.sub	3.14500	Average slope of tributary channels.
13	V__CH_K1.sub	216.90001	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium
14	V__CH_W1.sub	157.84300	Average width of tributary channels (m).
15	V__OV_N.hru	0.83983	Manning's "n" value for overland flow.
16	V__EPCO.hru	0.72900	Plant uptake compensation factor.
17	V__CANMX.hru	6.17615	Maximum canopy storage.
18	V__ESCO.hru	0.11700	Soil evaporation compensation factor.

19	V__SLSUBBSN.hru	34.26892	Average slope length
20	V__HRU_SLP.hru	0.72007	Average slope steepness
21	V__SURLAG.bsn	13.15405	Surface runoff lag time.
22	V__CH_K2.rte	394.23660	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium.
23	V__CH_N2.rte	0.19367	Manning's "n" value for the main channel.
24	V__ALPHA_BNK.rte	1.23048	Baseflow alpha factor for bank storage.



Gambar 4.50. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi Pertama

Selanjutnya kalibrasi dilanjutkan hingga mencapai nilai validitas yang diinginkan. Parameter dan masukan nilai akhir yang digunakan pada proses kalibrasi akhir disajikan pada tabel 4.29.

Tabel 4.30. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi akhir

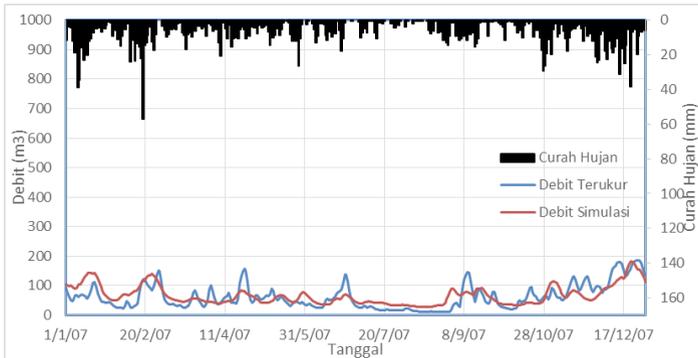
No	Parameter	Fitted_Value	Keterangan
1	R__CN2.mgt	-0.00361	SCS runoff curve number
2	V__ALPHA_BF.gw	0.21145	Baseflow alpha factor
3	V__GW_DELAY.gw	115.82170	Groundwater delay
4	V__GWQMN.gw	1063.78381	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur

5	V__REVAPMN.gw	169.29489	Threshold depth of water in the shallow aquifer for “revap” to occur
6	V__RCHRG_DP.gw	0.34567	Deep aquifer percolation fraction
7	V__GW_REVAP.gw	0.14523	Groundwater “revap” coefficient.
8	R__SOL_K(..).sol	13.48418	Saturated hydraulic conductivity.
9	R__SOL_AWC(..).sol	-1.42542	Available water capacity of the soil layer.
10	R__SOL_Z(..).sol	7.01576	Depth from soil surface to bottom of layer.
11	V__CH_L1.sub	56.45591	Longest tributary channel length in subbasin.
12	V__CH_S1.sub	2.09740	Average slope of tributary channels.
13	V__CH_K1.sub	292.62048	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium
14	V__CH_W1.sub	300.20352	Average width of tributary channels (m).
15	V__OV_N.hru	0.56710	Manning’s “n” value for overland flow.
16	V__EPCO.hru	0.55181	Plant uptake compensation factor.
17	V__CANMX.hru	5.17615	Maximum canopy storage.
18	V__ESCO.hru	0.49060	Soil evaporation compensation factor.
19	V__SLSUBBSN.hru	34.26892	Average slope length
20	V__HRU_SLP.hru	0.30686	Average slope steepness
21	V__SURLAG.bsn	13.15405	Surface runoff lag time.
22	V__CH_K2.rte	394.23660	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium.
23	V__CH_N2.rte	0.19367	Manning’s “n” value for the main channel.
24	V__ALPHA_BNK.rte	0.58180	Baseflow alpha factor for bank storage.

Nilai masukan tersebut memberikan hasil validitas R^2 sebesar 0.51, dan NS sebesar 0.48 untuk debit harian dengan hasil pengujian validitas disajikan dalam tabel 4.30 dan grafik hasil kalibrasi yang disajikan pada Gambar 4.52.

Tabel 4.31. Parameter Evaluasi Validitas Model SWAT

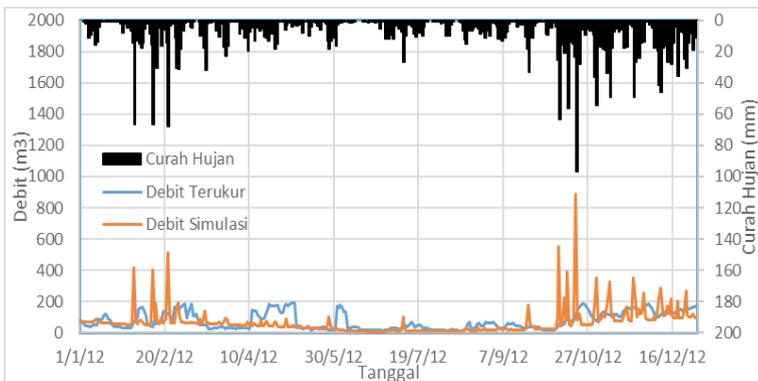
No	Parameter	Batasan (<i>Range</i>)	Nilai	Keterangan
1	Koefisien determinasi (R^2)	$0,4 < R^2 < 0,7$	0,51	Pengaruh substansial
2	Nash-sutcliffe efficiency (NS)	$0,36 < NS < 0,75$	0.48	Memenuhi



Gambar 4.51. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2007 Dengan Kalibrasi Akhir

4.3.8.3 Analisis Debit Dengan Peta Tata Guna lahan Tahun 2012

Pada kondisi awal simulasi ini digunakan nilai parameter – parameter yang ditentukan oleh SWAT atau tanpa kalibrasi. Pada gambar 4.52 dapat dilihat perbandingan antara debit terukur di AWLR Pantai Cermin dengan debit simulasi.



Gambar 4.52. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2012 Tanpa Kalibrasi

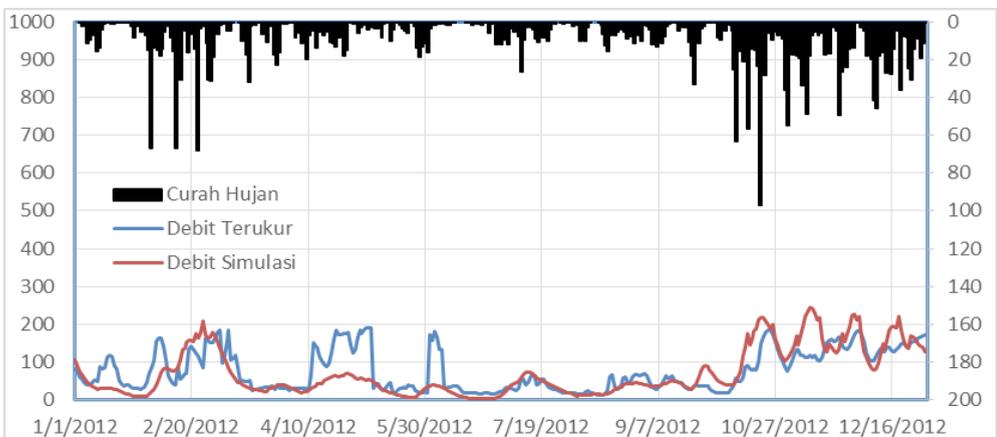
Kalibrasi model SWAT dilakukan dengan membandingkan debit harian dari AWLR Pantai Cermin pada tahun 2012 dengan keluaran model SWAT tahun 2012, Kalibrasi dilakukan secara *semi automatic*.

Langkah-langkah kalibrasi sama seperti yang telah dilakukan sebelum-sebelumnya, Pada kalibrasi tahun 2012 ini dilakukan sebanyak 3 kali iterasi dengan 1000 simulasi pada tiap iterasinya. Pada iterasi pertama menghasilkan parameter dan masukan nilai yang disajikan pada tabel 4.31 dan grafik hasil kalibrasi disajikan pada Gambar 4.32.

Tabel 4.32. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi pertama

No	Parameter	Fitted_Value	Keterangan
1	R_CN2.mgt	-0.117553	SCS runoff curve number
2	V_ALPHA_BF.gw	0.526839	Baseflow alpha factor
3	V_GW_DELAY.gw	359.67334	Groundwater delay
4	V_GWQMN.gw	4771.60498	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur
5	V_REVAPMN.gw	198.233673	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur
6	V_RCHRG_DP.gw	0.301315	Deep aquifer percolation fraction
7	V_GW_REVAP.gw	0.07557	Groundwater "revap" coefficient.
8	R_SOL_K(..).sol	10.13425	Saturated hydraulic conductivity.
9	R_SOL_AWC(..).sol	5.226026	Available water capacity of the soil layer.
10	R_SOL_Z(..).sol	6.273424	Depth from soil surface to bottom of layer.
11	V_CH_L1.sub	34.98500	Longest tributary channel length in subbasin.
12	V_CH_S1.sub	3.18750	Average slope of tributary channels.
13	V_CH_K1.sub	216.75002	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium
14	V_CH_W1.sub	888.61151	Average width of tributary channels (m).
15	V_OV_N.hru	0.72143	Manning's "n" value for overland flow.
16	V_EPCO.hru	0.59750	Plant uptake compensation factor.

17	V__CANMX.hru	0.15000	Maximum canopy storage.
18	V__ESCO.hru	1.29206	Soil evaporation compensation factor.
19	V__SLSUBBSN.hru	39.024513	Average slope length
20	V__HRU_SLP.hru	0.448037	Average slope steepness
21	V__SURLAG.bsn	17.323685	Surface runoff lag time.
22	V__CH_K2.rte	306.515228	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium.
23	V__CH_N2.rte	0.048606	Manning's "n" value for the main channel.
24	V__ALPHA_BNK.rte	0.696605	Baseflow alpha factor for bank storage.



Gambar 4.53. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Dengan Kalibrasi Pertama

Selanjutnya kalibrasi dilanjutkan hingga mencapai nilai validitas yang diinginkan. Parameter dan masukan nilai akhir yang digunakan pada proses kalibrasi disajikan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.33. Parameter dan nilai masukan yang digunakan untuk kalibrasi

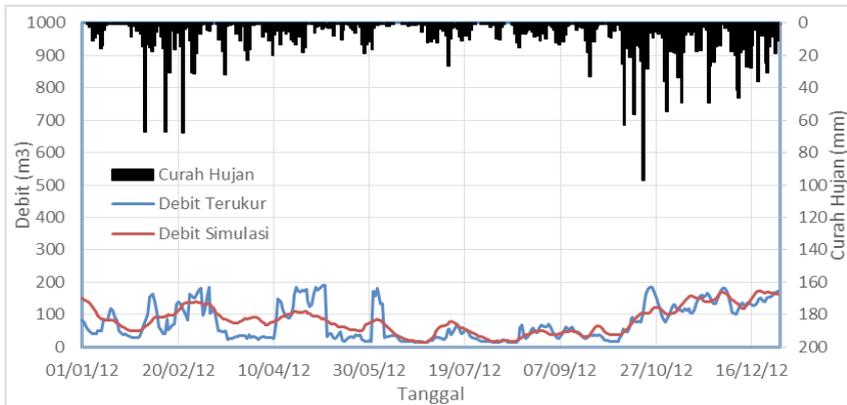
No	Parameter	Fitted_Value	Keterangan
1	R__CN2.mgt	0.11620	SCS runoff curve number
2	V__ALPHA_BF.gw	0.34750	Baseflow alpha factor
3	V__GW_DELAY.gw	64.33000	Groundwater delay
4	V__GWQMN.gw	1507.50000	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur

5	V__REVAPMN.gw	107.25000	Threshold depth of water in the shallow aquifer for “revap” to occur
6	V__RCHRG_DP.gw	0.15150	Deep aquifer percolation fraction
7	V__GW_REVAP.gw	0.17687	Groundwater “revap” coefficient.
8	R__SOL_K(..).sol	10.13425	Saturated hydraulic conductivity.
9	R__SOL_AWC(..).sol	7.39075	Available water capacity of the soil layer.
10	R__SOL_Z(..).sol	2.01475	Depth from soil surface to bottom of layer.
11	V__CH_L1.sub	34.98500	Longest tributary channel length in subbasin.
12	V__CH_S1.sub	3.18750	Average slope of tributary channels.
13	V__CH_K1.sub	216.75002	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium
14	V__CH_W1.sub	888.61151	Average width of tributary channels (m).
15	V__OV_N.hru	0.72143	Manning’s “n” value for overland flow.
16	V__EPCO.hru	0.59750	Plant uptake compensation factor.
17	V__CANMX.hru	0.15000	Maximum canopy storage.
18	V__ESCO.hru	0.96850	Soil evaporation compensation factor.
19	V__SLSUBBSN.hru	20.15000	Average slope length
20	V__HRU_SLP.hru	0.53430	Average slope steepness
21	V__SURLAG.bsn	11.38450	Surface runoff lag time.
22	V__CH_K2.rte	348.75000	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium.
23	V__CH_N2.rte	0.22266	Manning’s “n” value for the main channel.
24	V__ALPHA_BNK.rte	0.58450	Baseflow alpha factor for bank storage.

Nilai masukan tersebut memberikan hasil validitas R^2 sebesar 0.59, dan NS sebesar 0.59 untuk debit harian dengan hasil pengujian validitas disajikan dalam tabel 4.34 dan grafik hasil kalibrasi yang disajikan pada Gambar 4.55.

Tabel 4.34. Parameter Evaluasi Validitas Model SWAT

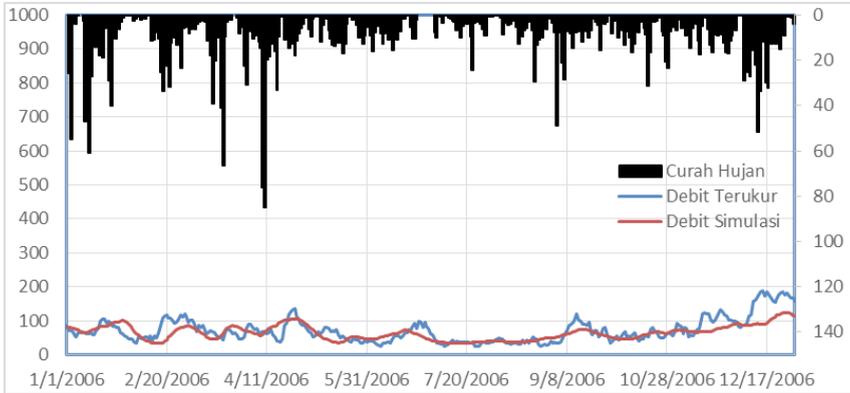
No	Parameter	Batasan (Range)	Nilai	Keterangan
1	Koefisien determinasi (R^2)	$0,4 < R^2 < 0,7$	0,59	Pengaruh substansial
2	Nash-sutcliffe efficiency (NS)	$0,36 < NS < 0,75$	0.58	Memenuhi



Gambar 4.54. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahun 2012 Dengan Kalibrasi Akhir

4.3.7 Validasi Model

Validasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan parameter – parameter DAS yang paling optimal saat proses kalibrasi. Parameter tersebut akan digunakan untuk mensimulasikan data periode tahun 2006 pada subDAS Tapung.



Gambar 4.55. Perbandingan Grafik Hidrograf Debit Terukur dan Debit Simulasi Tahap Validasi Tahun 2006

Pada Gambar 4.55 disajikan perbandingan antara hidrograf hasil pemodelan dengan hidrograf terukur di lapangan untuk kondisi parameter yang sama pada saat kalibrasi tapi dengan periode waktu yang berbeda, yaitu periode tahun 2006. Seperti ditunjukkan pada gambar, bentuk grafik debit hasil validasi model pada awal dan akhirnya memiliki perbedaan dengan bentuk grafik data terukur. Untuk memeriksa lebih jauh tentang keandalan hasil pemodelan pada tahap validasi ini, maka dicari nilai-nilai parameter koefisien determinasi dan efisiensi Nash-Sutcliffe. Hasil perhitungan masing-masing parameter tersebut disajikan di tabel 4.34 berikut ini.

Tabel 4.35. Parameter Evaluasi Validasi Model SWAT

No	Parameter	Batasan (Range)	Nilai	Keterangan
1	Koefisien determinasi (R^2)	$0,4 < R^2 < 0,7$	0,51	Pengaruh substansial
2	Nash-sutcliffe efficiency (NS)	$0,36 < NS < 0,75$	0.46	Memenuhi

Dari hasil parameter evaluasi R^2 dan NS pada hasil simulasi dan validasi terbukti bahwa data curah hujan satelit dan data iklim satelit bisa digunakan sebagai *input* dalam pemodelan SWAT.

4.3.8 Analisis Sensitifitas Parameter SWAT

Analisa Sensitifitas dilakukan untuk mendapatkan gambaran tentang parameter yang paling berpengaruh selama proses kalibrasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan merubah 24 parameter menggunakan dengan cara *semi automatic*. Analisa sensitifitas dilakukan pada simulasi pada tahun 2012, dari hasil analisa sensitifitas didapatkan bahwa 8 parameter paling memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil debit Sub DAS Tapung.

Hasil analisa sensitifitas ditampilkan dalam tabel 4.35 secara berurutan mulai dari yang paling sensitif berdasarkan nilai *p-value*. Semakin kecil nilai *p-value* maka semakin signifikan parameter tersebut dimana nilai terkecil adalah nol (Neitsch et al.,2002).

Tabel 4.36. Analisa sensitifitas untuk parameter terkalibrasi

No	Parameter	<i>P-Value</i>	No	Parameter	<i>P-Value</i>
1	RCHRG_DP.gw	0.00	13	SOL_Z(..).sol	0.14
2	HRU_SLP.hru	0.00	14	CH_S1.sub	0.22
3	CN2.mgt	0.00	15	EPCO.hru	0.35
4	SOL_K(..).sol	0.00	16	CH_L1.sub	0.36
5	SLSUBBSN.hru	0.00	17	ESCO.hru	0.36
6	ALPHA_BNK.rte	0.00	18	REVAPMN.gw	0.41
7	GWQMN.gw	0.00	19	CANMX.hru	0.43
8	GW_REVAP.gw	0.00	20	CH_N2.rte	0.63
9	CH_K2.rte	0.01	21	CH_W1.sub	0.65
10	OV_N.hru	0.01	22	ALPHA_BF.gw	0.70
11	CH_K1.sub	0.08	23	SOL_AWC(..).sol	0.73
12	SURLAG.bsn	0.10	24	GW_DELAY.gw	0.99

4.3.9 Analisis Ketersediaan Air Tanah DAS Siak Bagian Hulu

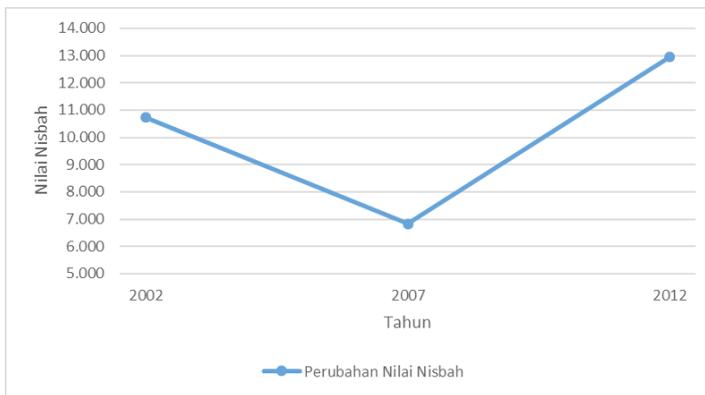
Pada penelitian ini analisis ketersediaan air tanah DAS Siak bagian Hulu dihitung dengan cara membandingkan nilai Q_{maks}/Q_{min} tiap periode atau disebut juga perhitungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} . Nilai Q_{maks} dan Q_{min} yang digunakan adalah hasil keluaran model SWAT yang telah dijelaskan sebelumnya. Nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} dapat mengidentifikasi suatu DAS mengalami perubahan kekritisannya. Nilai Nisbah Q_{maks} dan Q_{min} sebuah DAS, dihitung dengan menghitung nilai perbandingan Q_{maks} dan Q_{min} dari data debit bulanan rata rata, kemudian dihitung rata-rata nilai nisbah $Q_{maks}/$

Qmin tiap tahunnya. Jika nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} semakin besar maka DAS tersebut semakin kritis dan dapat dikatakan bahwa ada kecenderungan air tanahnya mengalami penurunan ketersediaan. Berikut adalah perhitungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} pada setiap tahun yang disimulasikan yaitu tahun 2002, 2007 dan 2012 dapat dilihat pada tabel 4.36.

Tabel 4.37. Perhitungan Nisbah Q_{maks}/Q_{min}

Tahun	Q_{maks}	Q_{min}	Nilai Nisbah
2002	162.800	15.180	10.725
2007	181.500	26.560	6.834
2012	172.900	13.350	12.951

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa ketersediaan air tanah dari tahun 2002 sampai dengan 2012 mengalami peningkatan dan penurunan seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.56 dibawah ini.



Gambar 4.56. Perubahan nilai Nisbah

Pada periode penelitian tahun 2002 sampai dengan 2012 nilai nisbah cenderung mengalami peningkatan yaitu dari 10.725 menjadi 12.951, hal ini disebabkan penggunaan tata guna lahan pada tahun 2002 dan 2012 mengalami beberapa perubahan seperti menurunnya luasan hutan dan meningkatnya luasan kelapa sawit, pemukiman serta semak belukar yang dapat meningkatkan jumlah runoff yang terjadi sehingga semakin meningkatnya nilai nisbah antara tahun 2002 dan 2012.

Namun pada tahun 2007 terjadi penurunan nilai nisbah dari 10.725 menjadi 6.834 yang disebabkan perubahan tata guna lahan yaitu penurunan luasan kelapa sawit, pemukiman serta semak belukar dan meningkatnya luasan tanah terbuka sehingga menurunkan jumlah runoff yang terjadi.

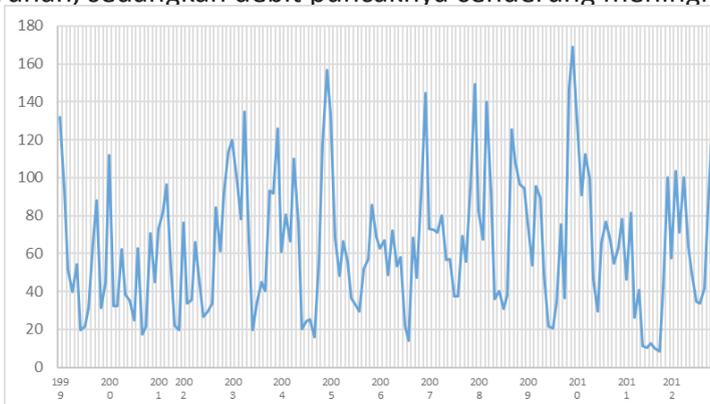
4.3.10 Ketersediaan Air Pada Aliran Das Siak

Ketersediaan air tanah bisa diprediksi dengan mencermati hasil pencatatan AWLR (Automatic Water Level Recorder) ataupun pencatatan dari papan duga. Hasil analisa akan semakin baik jika data yang tersedia semakin panjang dan jumlah stasiun pencatatan debit di suatu sungai semakin banyak.

Pada aliran Sungai Siak terdapat 3 (tiga) stasiun duga air yaitu stasiun pertama terletak di Tandun tepatnya Sungai Tapung Kiri di Kota Garo, stasiun kedua di Pantai Cermin di Sungai Tapung Kiri dan stasiun yang ketiga adalah di Jembatan Lekton, Sungai Siak di Kota Pekanbaru. Dalam penelitian ini, data yang bisa diperoleh dan dianalisa adalah data Stasiun Pantai Cermin.

4.3.10.1 Stasiun Pantai Cermin di Sungai Tapung Kiri

Berdasarkan data debit rata-rata bulanan pada Tapung Kiri di lokasi pengukuran debit Pantai Cermin sejak tahun 1999 sampai tahun 2012 dapat diketahui debit minimal 8,35 m³/detik pada tahun 2011 dan debit maksimal sebesar 168,95 m³/detik pada tahun 2009. Dari Grafik tersebut terlihat besaran debit rendahnya menunjukkan trend penurunan, sedangkan debit puncaknya cenderung meningkat.



Gambar 4.57. Debit Rerata Bulanan Stasiun Pantai Cermin di Sungai Tapung Kiri

4.3.10.2 Analisa Ketersediaan Air di Sub DAS Siak Stasiun Pantai Cermin

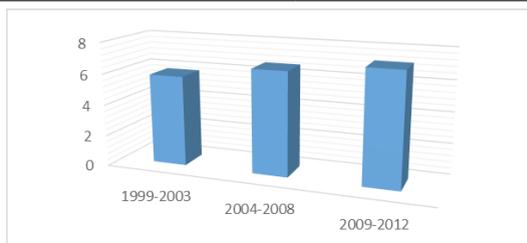
Salah satu pendekatan untuk memperkirakan ketersediaan air di sub DAS Siak Stasiun Pantai Cermin yaitu dengan membandingkan nilai Q_{maks}/Q_{min} tiap periode atau disebut juga perhitungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} .

Nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} dapat mengidentifikasi suatu DAS mengalami perubahan kekritisannya. Jika nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} semakin besar maka DAS tersebut semakin kritis artinya pada musim penghujan akan mengalami debit yang besar (mengakibatkan banjir badang yang semakin besar) akibat pengurangan infiltrasi dan sebaliknya pada saat musim kemarau debitnya kecil (sehingga muka air sungai turun drastic). Debit kecil di musim kemarau memperlihatkan kondisi ketersediaan air semakin menurun.

Nilai Nisbah Q_{maks} dan Q_{min} Sub DAS Siak Stasiun Pantai Cermin, dihitung dengan menghitung nilai perbandingan Q_{maks} dan Q_{min} dari data debit bulanan rata-rata, kemudian dihitung rata-rata nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} tiap interval tahunnya. Hasilnya terlihat pada tabel dan grafik di bawah ini bahwa ada kecenderungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} debit bulanan rata-rata mengalami kenaikan tiap interval tahunnya, sehingga bisa disimpulkan bahwa ada kecenderungan mengalami penurunan ketersediaannya.

Tabel 4.38. besaran nisbah Q_{maks}/Q_{min} pada setiap interval tahun

Interval Tahun	Nisbah Q_{maks}/Q_{min}
1999-2003	5,813421
2004-2008	6,641072
2009-2012	7,190577



Gambar 4.58. Grafik Perubahan nilai nisbah Q_{maks}/Q_{min} tiap interval tahun

Penurunan ketersediaan air ini ditunjukkan dengan semakin besarnya jarak debit maksimum dan debit minimum yang menyebabkan nisbah Q_{maks}/Q_{min} semakin naik. Salah satu faktor penyebab semakin naiknya nisbah Q_{maks}/Q_{min} yaitu berkurangnya laju infiltrasi sehingga pada saat musim penghujan besaran runoff semakin membesar. Jika laju infiltrasi mengecil maka recharge air tanah juga akan mengalami penurunan, sehingga pada saat musim kemarau debit minimalnya semakin mengecil.

Berdasarkan pengukuran laju infiltrasi di lapangan diketahui bahwa penanaman kelapa sawit pada masa tanaman belum menghasilkan (TBM) akan lebih besar dibandingkan tanaman kelapa sawit yang sudah menghasilkan (TM). Kapasitas infiltrasi dari tiga tutupan lahan yaitu kelapa sawit (TM), Karet dan HTI berbeda-beda dan yang paling kecil adalah kapasitas infiltrasi pada lahan yang ditanami kelapa sawit pada kondisi sudah menghasilkan (TM).

Dalam rangka pengelolaan konservasi sumber daya air tanah di DAS Siak direkomendasi hal-hal sebagai berikut.

4.3.14 Usulan Konservasi Air di DAS Siak

Direkomendasikan beberapa hal berikut ini.

1. Penyusunan Kebijakan tentang pembatasan pengembangan kebun mono kultur terutama perkebunan kelapa Sawit yang dituangkan dalam bentuk regulasi menjadi tanaman campuran atau komoditi perkebunan selain Kelapa Sawit Sehingga koefiesn infiltrasi lahan menjadi lebih besar dan water run off menjadi berkurang. Akibatnya memperbaiki kondisi DAS Siak. Upaya tanaman campuran danpat dilakukan dengan mengkombinasi tanaman kelapa sawit dengan jenis tanaman kayu berakar tunggang seperti gaharu, shorea, dll.
2. Membangun area tadah hujan dan parit irigasi. Kegiatan konservasi berorientasi pada memanfaatkan air hujan seoptimal mungkin agar tidak langsung hilang oleh aliran permukaan (run-off), tapi dapat di bendung terlebih dahulu untuk dimanfaatkan oleh perakaran kelapa sawit.

4.4 Pemetaan Area Rawan Banjir Di Pekanbaru

Berdasarkan penelitian Wikrin Terioko, 2014 dengan menggunakan data titik banjir hasil survei dari Tim Royal Haskoning (2011)

dalam RPJMD Kota Pekanbaru Tahun 2012 – 2017, maka 31 lokasi titik banjir genangan dapat dilihat pada Tabel 4.38 berikut ini.

Tabel 4.39. Lokasi titik-titik banjir genangan wilayah Kota Pekanbaru

No.	Nama Jalan	Kelurahan	Kecamatan
1	Jl. Perkutut	Kel. Simpang Baru	Tampan
2	Jl. Cipta Karya	Kel. Tuah Karya	Tampan
3	Jl. Mayar Sakti	Kel. Simpang Baru	Tampan
4	Jl. HR. Soebarantas	Kel. Delima	Tampan
5	Jl. Kayu Haji	Kel. Delima	Tampan
6	Jl. Arifin Ahmad	Kel. Tangkerang Barat	Marpoyan Damai
7	Jl. Duyung	Kel. Tangkerang Barat	Marpoyan Damai
8	Jl. Duyung	Kel. Tangkerang Barat	Marpoyan Damai
9	Jl. Kereta Api	Kel. Tangkerang Tengah	Marpoyan Damai
10	Jl. Murai	Kel. Kampung Melayu	Sukajadi
11	Jl. Balon	Kel. Kampung Melayu	Sukajadi
12	Jl. Pepaya	Kel. Jadirejo	Sukajadi
13	Jl. Panda	Kel. Sukajadi	Sukajadi
14	Jl. Durian	Kel. Harjosari	Sukajadi
15	Jl. Lili	Kel. Padang Terubuk	Sukajadi
16	Jl. Riau	Kel. Padang Terubuk	Sukajadi
17	Jl. Mesjid	Kel. Pesisir	Lima puluh
18	Jl. Mesjid	Kel. Pesisir	Lima puluh
19	Jl. Bangkinang	Kelurahan Tanjung Rhu	Lima puluh
20	Jl. Tanjung Karang	Kel. Pesisir	Lima puluh
21	Jl. Selamat	Kel. Labuh Baru Timur	Payung Sekaki
22	Gg. Serayu I	Kel. Labuh Baru Timur	Payung Sekaki
23	Jl. Perwira	Kel. Labuh Baru Timur	Payung Sekaki
24	Jl. Perwira	Kel. Labuh Baru Timur	Payung Sekaki
25	Jl. Panglima	Kel. Labuh Baru Timur	Payung Sekaki
26	Jl. Lili	Kel. Padang Terubuk	Senapelan
27	Jl. Kenanga	Kel. Padang Bulan	Senapelan
28	Jl. Riau	Kel. Padang Terubuk	Senapelan
29	Jl. Di Panjaitan	Kel. Sri Meranti	Rumbai
30	Jl. Palas	Kel. Sri Meranti	Rumbai
31	Jl. Yos Sudarso	Kel. Meranti Pandak	Rumbai Pesisir

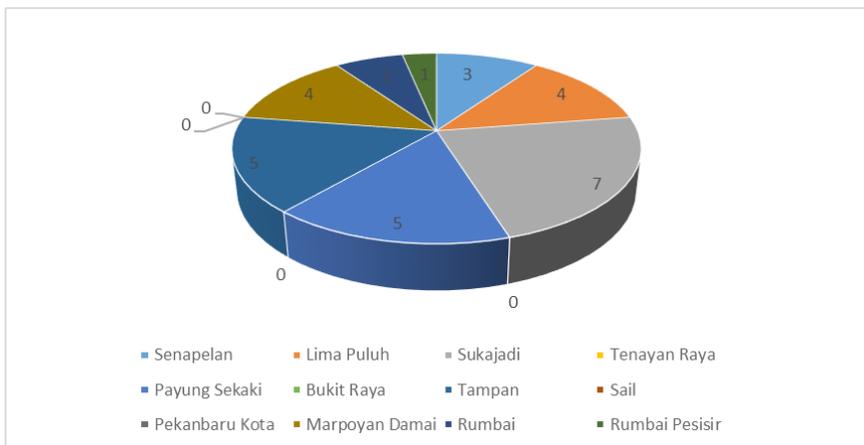
Sumber: Hasil Survei Tim Royal Haskoning (2011)

Sedangkan jumlah titik-titik banjir di setiap kecamatan di wilayah Kota Pekanbaru, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.39 berikut ini.

Tabel 4.40. Hubungan antara tingkat kerawanan hasil analisis terhadap jumlah titik-titik banjir wilayah Kota Pekanbaru

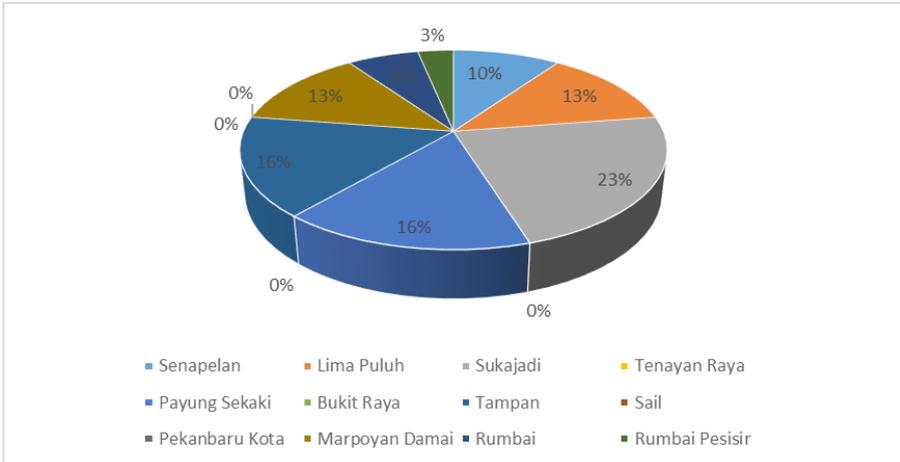
No.	Kecamatan	Kategori Tingkat Kerawanan Hasil Analisis	Jumlah Titik Banjir
1	Senapelan	Rawan	3
2	Lima Puluh	Rawan	4
3	Sukajadi	Agak Rawan	7
4	Tenayan Raya	Agak Rawan	0
5	Payung Sekaki	Agak Rawan	5
6	Bukit Raya	Agak Rawan	0
7	Tampan	Agak Rawan	5
8	Sail	Agak Rawan	0
9	Pekanbaru Kota	Agak Rawan	0
10	Marpoyan Damai	Sedikit Rawan	4
11	Rumbai	Sedikit Rawan	2
12	Rumbai Pesisir	Tidak Rawan	1
Wilayah Kota Pekanbaru		Agak Rawan	31

Sumber: Hasil Analisis (2014)



Gambar 4.59. Jumlah titik-titik banjir genangan di Kota Pekanbaru

Jumlah titik-titik banjir genangan pada Tabel 4.39 di atas tidak merepresentasikan tingkat kerawanan banjir genangan suatu wilayah.



Gambar 4.60. Persentase Jumlah titik-titik banjir genangan di Kota Pekanbaru

Adapun kecamatan kecamatan yang sering terjadi banjir adalah: Kecamatan Sukajadi, Payung Sekaki, Tampan, dan Marpoyan Damai, seperti pada gambar 4.60.

Kecamatan Payung Sekaki

Dari Tabel di atas, diketahui bahwa Kecamatan Payung Sekaki berdasarkan parameter daerah rawan banjir genangan dan parameter potensi pasokan air banjir genangan memiliki kategori rawan terhadap terjadinya banjir genangan. Hasil analisis tersebut kemudian dikorelasikan terhadap data titik-titik banjir hasil survei Royal Haskoning (2011). Dari hasil survei Royal Haskoning (2011) tersebut diketahui bahwa di wilayah Kecamatan Payung Sekaki terdapat 5 (lima) titik banjir. Dengan berdasarkan data 5 (lima) titik lokasi banjir tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui bekas-bekas banjir dan kondisi existing saluran drainase pada lokasi titik banjir, seperti yang diperlihatkan pada Gambar berikut ini.



Gambar 4.61. Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi existing saluran drainase di Kecamatan Payung Sekaki (kanan)
Sumber: Dokumentasi (2014)

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar di atas merupakan salah 1 (satu) dari 5 (lima) lokasi titik-titik banjir dari data hasil survei Royal Haskoning (2011). Lokasi tersebut berada di Gang Serayu I pada Kecamatan Payung Sekaki. Gambar 4.66 di atas memperlihatkan bekas banjir genangan yang membekas pada struktur dinding (kiri) dan kondisi existing saluran drainase (kanan). Dari hasil pengamatan diketahui bahwa lokasi titik banjir tersebut berada pada daerah dengan kondisi topografi datar. Di Kecamatan tersebut juga tidak tersedia bangunan air berupa waduk ataupun kanal banjir. Penggunaan lahan di Kecamatan Payung Sekaki didominasi oleh wilayah pemukiman dan rawa-rawa. Selain dilaksanakan pengamatan secara langsung, juga dilaksanakan wawancara kepada masyarakat setempat mengenai kejadian banjir genangan di lokasi tersebut. Dari informasi yang didapatkan, diketahui bahwa permasalahan banjir genangan yang terjadi di lokasi tersebut disebabkan oleh permasalahan saluran drainase, yaitu kapasitas saluran drainase yang tidak mampu menampung debit air banjir sehingga terjadi banjir genangan di wilayah sekitarnya.

A. Kecamatan Bukit Raya

Dari Tabel 4.39 di atas, diketahui bahwa Kecamatan Bukit Raya berdasarkan parameter daerah rawan banjir genangan dan parameter potensi pasokan air banjir genangan memiliki kategori agak rawan terhadap terjadinya banjir genangan. Hasil analisis tersebut kemudian dikorelasikan terhadap data titik-titik banjir hasil survei Royal Haskoning (2011). Dari hasil survei Royal Haskoning (2011) tersebut

diketahui bahwa di wilayah Kecamatan Bukit Raya tidak terdapat titik banjir atau 0 (nol) titik banjir. Pengamatan langsung dilaksanakan untuk mengetahui kondisi existing saluran drainase pada Kecamatan Bukit Raya, seperti yang diperlihatkan pada Gambar berikut ini.



Gambar 4.62. Kondisi existing saluran drainase (kiri) dan kanal banjir (kanan) di Kecamatan Bukit Raya
Sumber: Dokumentasi (2014)

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar di atas merupakan salah satu lokasi di Kecamatan Bukit Raya yang berada di Jalan Mustafa Sari dan Jalan D.T. Setia Maharaja. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa lokasi tersebut berada di daerah yang memiliki elevasi yang sangat rendah dari daerah sekitarnya. Penggunaan lahan di Kecamatan Bukit Raya didominasi oleh wilayah permukiman, pertokoan, perkantoran, dan rawa-rawa. Gambar di atas memperlihatkan kondisi existing saluran drainase dengan kondisi existing yang sangat baik sehingga mampu menampung debit air banjir dan mencegah terjadinya banjir genangan.

A. Kecamatan Tampan

Dari Tabel di atas, diketahui bahwa Kecamatan Tampan berdasarkan parameter daerah rawan banjir genangan dan parameter potensi pasokan air banjir genangan memiliki kategori agak rawan terhadap terjadinya banjir genangan. Hasil analisis tersebut kemudian dikorelasikan terhadap data titik-titik banjir hasil survei Royal Haskoning (2011). Dari hasil survei Royal Haskoning (2011) tersebut diketahui bahwa di wilayah Kecamatan Payung Sekaki terdapat 5 (lima) titik banjir. Dengan berdasarkan data 5 (lima) titik lokasi banjir tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui bekas-bekas banjir dan kondisi existing saluran drainase pada lokasi

titik banjir, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.63 berikut ini.



Gambar 4.63. Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi existing saluran drainase di Kecamatan Tampan (kiri dan kanan)
Sumber: Dokumentasi (2014)

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.63 di atas merupakan salah 1 (satu) dari 5 (lima) lokasi titik-titik banjir dari data hasil survei Royal Haskoning (2011). Lokasi tersebut berada di Jalan Haji pada Kecamatan Tampan. Gambar 4.63 di atas memperlihatkan bekas banjir genangan yang membekas pada struktur dinding (kiri) dan kondisi existing saluran drainase (kiri dan kanan). Dari hasil pengamatan diketahui bahwa lokasi titik banjir tersebut berada pada daerah dengan kondisi topografi datar. Di Kecamatan tersebut tersedia waduk Cipta Karya yang berada di Jalan Cipta Karya. Penggunaan lahan di Kecamatan Tampan didominasi oleh wilayah pemukiman dan pertokoan. Selain dilaksanakan pengamatan secara langsung, juga dilaksanakan wawancara kepada masyarakat setempat mengenai kejadian banjir genangan di lokasi tersebut. Dari informasi yang didapatkan, diketahui bahwa permasalahan banjir genangan yang terjadi di lokasi tersebut disebabkan oleh permasalahan saluran drainase, yaitu kapasitas saluran yang tidak mampu menampung debit air banjir sehingga terjadi banjir genangan di wilayah sekitarnya.

B. Kecamatan Sail

Dari tabel di atas, diketahui bahwa Kecamatan Sail berdasarkan parameter daerah rawan banjir genangan dan parameter potensi pasokan air banjir genangan memiliki kategori agak rawan terhadap

terjadinya banjir genangan. Hasil analisis tersebut kemudian dikorelasikan terhadap data titik-titik banjir hasil survei Royal Haskoning (2011). Dari hasil survei Royal Haskoning (2011) tersebut diketahui bahwa di wilayah Kecamatan Sail tidak terdapat titik banjir atau 0 (nol) titik banjir. Pengamatan langsung dilaksanakan untuk mengetahui kondisi existing saluran drainase pada Kecamatan Sail, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.64 berikut ini.



Gambar 4.64. Kondisi existing saluran drainase (kiri) waduk wisata di Kecamatan Sail (kanan)

Sumber: Dokumentasi (2014)

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.69 di atas merupakan salah satu lokasi di Kecamatan Sail yang berada di Jalan Diponegoro. Gambar 4.69 di atas memperlihatkan tersedianya waduk di taman wisata (kanan) dan kondisi existing saluran drainase (kiri) dengan kondisi existing yang sangat baik sehingga mampu menampung debit air banjir dan mencegah terjadinya banjir genangan.

C. Kecamatan Marpoyan Damai

Dari Tabel di atas, diketahui bahwa Kecamatan Marpoyan Damai berdasarkan parameter daerah rawan banjir genangan dan parameter potensi pasokan air banjir genangan memiliki kategori agak rawan terhadap terjadinya banjir genangan. Hasil analisis tersebut kemudian dikorelasikan terhadap data titik-titik banjir hasil survei Royal Haskoning (2011). Dari hasil survei Royal Haskoning (2011) tersebut diketahui bahwa di wilayah Kecamatan Marpoyan Damai terdapat 4 (empat) titik banjir,. Dengan berdasarkan data 4 (empat) titik lokasi banjir tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk

mengetahui bekas-bekas banjir dan kondisi existing saluran drainase pada lokasi titik banjir, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.65 berikut ini.



Gambar 4. 65 Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi existing saluran drainase di Kecamatan Marpoyan Damai (kanan)
Sumber: Dokumentasi (2014)

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar di atas merupakan salah 1 (satu) dari 4 (empat) lokasi titik-titik banjir dari data hasil survei Royal Haskoning (2011). Lokasi tersebut berada di Jalan Duyung pada Kecamatan Marpoyan Damai. Gambar di atas memperlihatkan bekas banjir genangan yang membekas pada struktur dinding (kiri) dan kondisi existing saluran drainase (kanan). Dari hasil pengamatan diketahui bahwa lokasi titik banjir tersebut berada di daerah rawa. Penggunaan lahan di Kecamatan Lima Puluh didominasi oleh wilayah rawa-rawa dan permukiman. Selain dilaksanakan pengamatan secara langsung, juga dilaksanakan wawancara kepada masyarakat setempat mengenai kejadian banjir genangan di lokasi tersebut. Dari informasi yang didapatkan, diketahui bahwa permasalahan banjir genangan yang terjadi di lokasi tersebut disebabkan oleh permasalahan manajemen pengendalian air banjir genangan, yaitu tidak tersedianya bangunan air berupa waduk dan saluran drainase yang memadai.

D. Kecamatan Rumbai Pesisir

Dari Tabel di atas, diketahui bahwa Kecamatan Rumbai Pesisir berdasarkan parameter daerah rawan banjir genangan dan parameter potensi pasokan air banjir genangan memiliki kategori tidak rawan terhadap terjadinya banjir genangan. Hasil analisis tersebut

kemudian dikorelasikan terhadap data titik-titik banjir hasil survei Royal Haskoning (2011). Dari hasil survei Royal Haskoning (2011) tersebut diketahui bahwa di wilayah Kecamatan Rumbai Pesisir terdapat 1 (satu) titik banjir,. Dengan berdasarkan data titik lokasi banjir tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui bekas-bekas banjir dan existing kondisi tanggul pada lokasi titik banjir, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.66 berikut ini.



Gambar 4. 66 Bekas banjir genangan (kiri) dan kondisi tanggul di Kecamatan Rumbai Pesisir (kanan)

Sumber: Dokumentasi (2014)

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.66 di atas merupakan lokasi titik-titik banjir dari data hasil survei Royal Haskoning (2011). Lokasi titik banjir tersebut berada di Jalan Yos Sudarso pada Kecamatan Rumbai Pesisir. Gambar di atas memperlihatkan bekas banjir genangan yang membekas pada struktur dinding (kiri) dan kondisi existing tanggul Sungai Siak (kanan). Dari hasil pengamatan diketahui bahwa lokasi titik banjir tersebut berada di daerah yang memiliki elevasi yang sangat rendah dari daerah sekitarnya dan berada di sempadan Sungai Siak. Penggunaan lahan di lokasi banjir didominasi oleh wilayah permukiman. Di lokasi banjir tersebut sudah terdapat tanggul yang memadai untuk melindungi wilayah permukiman dari luapan Sungai Siak. Selain dilaksanakan pengamatan secara langsung, juga dilaksanakan wawancara kepada masyarakat setempat mengenai kejadian banjir genangan di lokasi tersebut. Dari informasi yang didapatkan, diketahui bahwa permasalahan banjir genangan yang terjadi di lokasi tersebut disebabkan permasalahan bangunan air yaitu tidak tersedianya saluran drainase yang memadai untuk mengalirkan debit air banjir genangan. Selain itu, banjir genan-

gan yang terjadi juga disebabkan oleh meluapnya Sungai Siak melebihi tinggi tanggul. Menurut informasi dari masyarakat setempat, bahwa tanggul yang sudah ada pada tahun 2011 tidak layak untuk melindungi wilayah pemukiman di sekitar Sungai Siak dari air banjir genangan yang disebabkan meluapnya Sungai Siak karena tinggi luapan Sungai Siak sudah melebihi tinggi tanggul existing. Pada tahun 2014 Pemerintah setempat telah melaksanakan peninggian tanggul Sungai Siak, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.72 berikut ini.

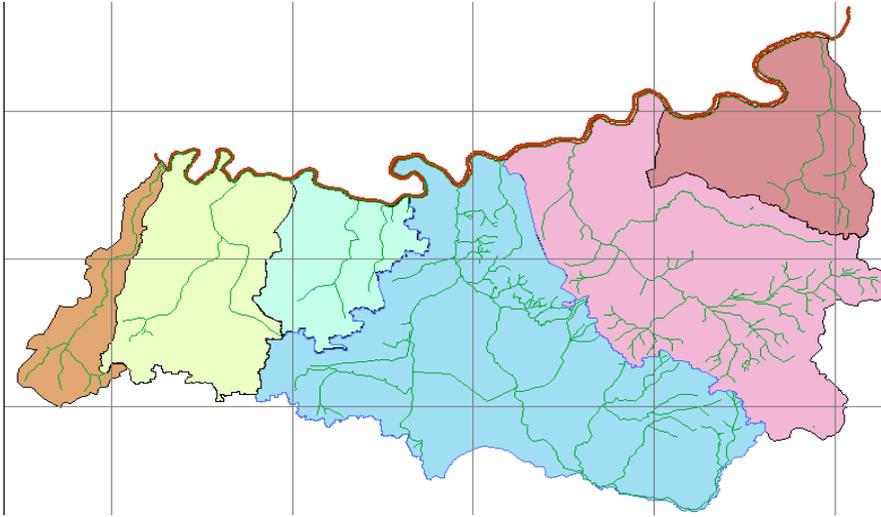


Gambar 4. 67 Tanggul baru (kiri) dan banjir genangan di Kecamatan Rumbai Pesisir (kanan)
Sumber: Dokumentasi (2014)

Pada Gambar 4.67 (kiri) di atas, semenjak dilaksanakan pekerjaan peninggian tanggul oleh Pemerintah setempat, lokasi di sekitar Sungai Siak di Kecamatan Rumbai Pesisir tidak lagi mengalami banjir genangan yang diakibatkan meluapnya Sungai Siak. Sedangkan pada Gambar 4.67 (kanan), memperlihatkan permasalahan banjir genangan yang bukan disebabkan oleh meluapnya Sungai Siak, melainkan karena lokasi tersebut berada di daerah rawa-rawa yang tidak memiliki manajemen pengendalian air banjir genangan yang memadai.

Nilai Debit Banjir pada sub DAS Siak di Pekanbaru

Perhitungan debit banjir dilakukan menggunakan metode hidrograf satuan sintetik Gama I dan Nakayasu. Pada perhitungan ini tidak menggunakan perhitungan hidrograf natural dan hanya menggunakan karakteristik dari masing-masing sub DAS berdasarkan Sistem Informasi Geografis (SIG). Adapun hasil pemetaan pada sub DAS Siak menggunakan data DEM (Digital Elevation Model) dengan teknologi SIG adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 68 Bentuk Sub DAS Siak dari data ASTER GDEM

Gambar 4.68 menjelaskan tentang pemetaan sub DAS Siak menggunakan teknologi SIG kemudian dilakukan analisis menggunakan software AutoCAD untuk mendapatkan nilai morfometri pada masing-masing sub DAS Siak yang ada di Pekanbaru. Pada Gambar 4.68 menggambarkan masing-masing sub DAS Siak di Pekanbaru. Warna coklat menunjukkan bentuk sub DAS Slbam, Hijau adalah bentuk sub DAS Air Hitam, Biru muda adalah bentuk sub DAS Senapelan, Biru tua adalah bentuk sub DAS Sail, Merah muda adalah bentuk dari sub DAS Tenayan, dan Merah tua menunjukkan bentuk DAS Pendanau.

Masing-masing sub DAS memiliki karakteristik morfometri yang berbeda-beda. Nilai morfometri dapat dilihat pada Tabel 4.41 di bawah. Karakteristik morfometri masing-masing sub DAS akan digunakan untuk menghitung debit banjir pada hidrograf dengan metode HSS GAMA I dan Nakayasu. Dari metode ini akan didapatkan nilai banjir rancangan dan volume pada masing-masing hidrograf.,karakteristik morfologi sub DAS Siak seperti pada Tabel 4.40

Tabel 4. 41 Karakteristik Morfologi sub DAS Siak

Karakteristik DAS	Nama DAS					
	Sibam	Air Hitam	Senapelan	Sail	Tenayan	Pendanau
Luas DAS (Ha)	14,986	40,823	23,024	109,011	83,776	33,450
Panjang Sungai Utama (Km)	11,637	8,496	5,624	24,799	17,212	9,913
Panjang seluruh anak sungai	19,714	15,796	12,120	120,443	88,662	16,857
Panjang anak sungai tingkat 1 (Km)	5,130	8,140	8,093	53,938	47,916	7,206
Kemiringan Sungai	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,005
Kerapatan Jaringan	1,315	0,387	0,526	1,105	1,058	0,504
Kuras (D) Luas DAS Sebelah hulu (RUA) (Ha)	0,602	0,504	0,387	0,533	0,504	0,481
Faktor Lebar (WF)	2,385	1,167	0,845	0,159	0,803	2,745
Faktor SIM	1,436	0,588	0,327	0,085	0,405	1,319
Faktor Sumber (SF)	0,260	0,515	0,668	0,448	0,540	0,427
Frekuensi Sumber (SN)	0,667	0,714	0,833	0,727	0,750	0,636
Jumlah Pertemuan Sungai (JN)	5,000	4,000	4,000	63,000	77,000	6,000

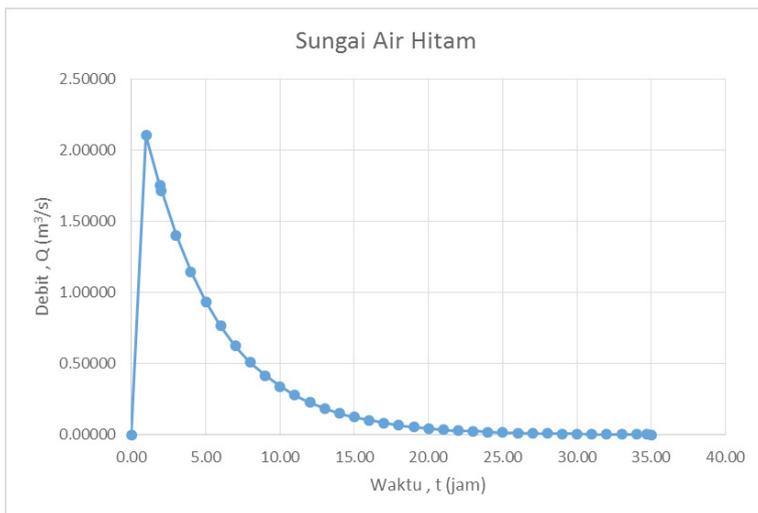
4.4.1 Analisis debit banjir menggunakan metode HSS Gama I

Pada perhitungan debit banjir rancangan menggunakan metode HSS Gama I, ini menggunakan parameter karakteristik DAS pada Tabel 4.41. Sehingga didapatkan hasil debit rancangan dengan menggunakan metode HSS Gama I.

Tabel 4. 42 Nilai debit menggunakan HSS Gama I

No	Nama DAS	A (Km ²)	JN	TR (Jam)	Qp (m ³ /s)
1	Sibam	14,986	5	2,848	0,871
2	Air Hitam	40,823	4	1,906	1,750
3	Senapelan	23,024	4	1,627	1,331
4	Sail	109,011	63	1,441	6,729
5	Tenayan	83,776	77	1,723	5,627
6	Pendanau	33,450	6	2,690	1,493

Dari nilai debit ini akan membentuk suatu hidrograf satuan sintetik Gama I terhadap satu satuan waktu. Dari hirodgraf ini maka akan didapatkan nilai volume di lapangan dengan cara menghitung luasan dibawah hidrograf. Pada perhitungan ini dilakukan untuk setiap 1 jam pada hidrograf satuan sintetik Gama I. Untuk Gambar hidrograf menggunakan HSS Gama I dapat dilihat pada Gambar 4.69



Gambar 4. 69 Hidrograf Satuan Sintetik Gama I sub DAS Air Hitam

Dari contoh Gambar 4.69 dapat dihitung volume hidrograf dengan cara menghitung luasan dibawah kurva hidrograf. Adapun nilai volume untuk masing-masing sub DAS di Pekanbaru dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4. 43 Volume dengan metode HSS Gama I

No	Nama DAS	Volume metode HSS Gama I (m3)
1	Sibam	21348,303
2	Air Hitam	41288,619
3	Senapelan	23787,441
4	Sail	207924,363
5	Tenayan	144440,541
6	Pendanau	44035,291

4.4.2. Analisis debit banjir menggunakan metode Nakayasu

Perhitungan debit menggunakan Nakayasu yaitu menggunakan $\alpha = 3,604 \cdot \frac{A^{0,113}}{L^{0,528}}$. Adapun nilai debit yang didapat dengan menggunakan metode Nakayasu dapat dilihat pada Tabel 4.43.

Tabel 4. 44 Debit Puncak dengan metode HSS Nakayasu

No	Nama DAS	Debit Puncak (Qp) (m ³ /s)
1	Sibam	1,584
2	Air Hitam	3,940
3	Senapelan	2,737
4	Sail	7,181
5	Tenayan	6,505
6	Pendanau	3,215

Pada perhitungan debit dengan metode Nakayasu parameter yang digunakan dari karakteristik DAS yaitu menggunakan luas (A) dan panjang sungai utama (L) yang dapat dilihat pada Tabel 4.43.

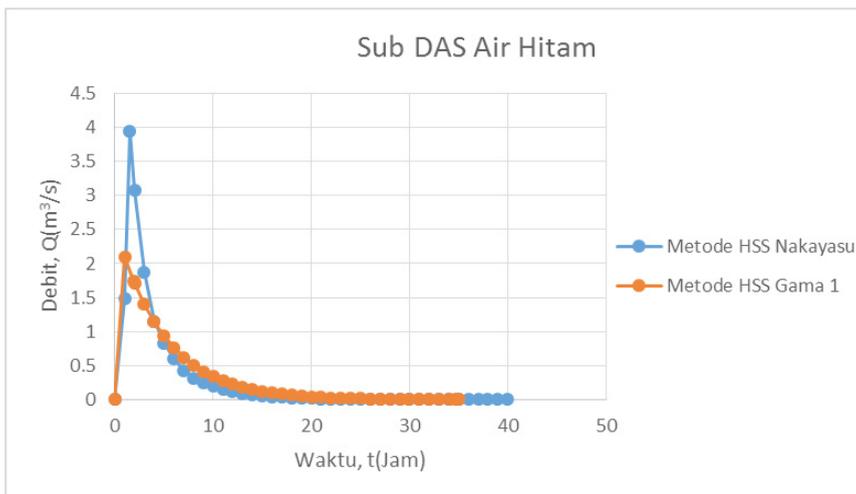
Untuk nilai volume menggunakan metode Nakayasu dapat dilihat dari Tabel 4.44. Volume ini diambil dari menghitung luasan dibawah kurva hidrograf dengan syarat nilai debit 0,0001 m³/s.

Tabel 4. 45 Volume dengan metode HSS Nakayasu

No	Nama DAS	Volume metode
		HSS Nakayasu (m ³)
1	Sibam	14708,199
2	Air Hitam	40282,707
3	Senapelan	22686,322
4	Sail	105721,780
5	Tenayan	82027,545
6	Pendanau	32980,911

4.4.3 Perbandingan Metode HSS Gama I dengan Nakayasu

Pembahasan dilakukan untuk membandingkan hasil yang didapat dengan metode HSS Gama I dengan HSS Nakayasu berdasarkan perbandingan volume dan nilai H_{DRO} sehingga diketahui metode yang lebih akurat penerapannya.



Gambar 4. 70 Perbandingan Hidrograf metode HSS Nakayasu dan HSS Gama I pada sub DAS Air Hitam

Perbandingan kontrol volume dan nilai H_{DRO} metode HSS Nakayasu dengan HSS Gama I pada sub DAS Siak dapat dilihat pada Tabel 4.45.

Tabel 4. 46 Perbandingan Volume Kontrol dan nilai H_{DRO} metode HSS Gama I dengan HSS Nakayasu

No	Nama DAS	Volume Kontrol error (%)		Nilai HDRO (mm)	
		Gama I	Nakayasu	Gama I	Nakayasu
1	Sibam	42,453	4,111	1,425	1,041
2	Air Hitam	1,141	3,387	1,011	1,034
3	Senapelan	3,318	4,538	1,033	1,045
4	Sail	90,738	1,130	1,907	1,011
5	Tenayan	72,414	1,897	1,724	1.019
6	Pendanau	31,646	3,204	1,316	1,032

Berdasarkan Tabel 4.45 menunjukkan nilai volume kontrol dengan metode HSS Nakayasu lebih kecil dibandingkan dengan metode HSS Gama I. Pada metode HSS Gama I yang besar nilai toleransi kesalahannya <5% itu hanya ada 2 sub DAS yaitu sub DAS Air Hitam dan Sub DAS Senapelan, apabila dibandingkan dengan menggunakan metode HSS Nakayasu hasil untuk nilai toleransi kesalahan <5%, semua sub DAS masuk dalam kriteria tersebut dimana artinya nilai volume perhitungan sama dengan observasi. Dapat ditarik kesimpulan bahwa menggunakan metode HSS Nakayasu lebih akurat dan teliti dibandingkan dengan metode HSS Gama I.

Apabila dilihat dari nilai H_{DRO} yang mendekati nilai 1 mm adalah dengan metode Nakayasu. Dilihat dari Tabel 4.55 nilai H_{DRO} yang didapat dengan metode HSS Nakayasu lebih mendekati nilai 1 mm, sehingga apabila dilihat dari penilaian hidrograf satuan berarti perhitungan dengan metode HSS Nakyasu lebih akurat dibandingkan dengan metode HSS Gama I.

Dari hasil analisis nampak bahwa pola distribusi aliran sungai merupakan proyeksi dari respon hidrologi terhadap faktor geomorfologi sungai. Bentuk hidrograf yang dimiliki oleh suatu DAS relatif

berbeda-beda sebab suatu daerah pengaliran pada suatu sungai yang mendapatkan masukan curah hujan tertentu akan menghasilkan suatu hidrograf aliran yang bentuk dan ukuran tertentu pula menurut ruang dan waktu. Hal ini terjadi akibat adanya variasi curah hujan dan kondisi DAS saat terjadinya hujan tersebut.

4.4.4 Validasi jaringan sungai dengan lokasi di Lapangan

A. Sub DAS Sibam

Berdasarkan pemetaan pada Gambar 4.72, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui letak sungai-sungai dan bentuk bangunannya pada sub DAS Sibam, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.76 berikut ini.



Gambar 4. 71 Cabang Sungai Sibam

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.71 merupakan salah satu cabang sungai yang ada pada sub DAS Sibam. Lokasi tersebut berada di Jalan Garuda Sakti. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa sungai yang mengalir dari sungai Sibam akan mengalir ke saluran drainase ke Jl. UKA. Pada cabang ini air akan mengalir terus menuju sungai utama yaitu sungai siak. Dilihat kondisi existing nya pengaliran bagus dan lancar tidak ada kerusakan bangunan drainase pada tempat tersebut.

B. Sub DAS Air Hitam

Berdasarkan pemetaan pada Gambar 4.71 tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui letak sungai-sungai dan bentuk bangunannya pada sub DAS Air Hitam, seperti yang diperlihatkan kan pada Gambar 4.72 berikut ini.



Gambar 4. 72 Percabangan anak sungai di sub DAS Air Hitam

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.72 merupakan salah satu cabang sungai yang ada pada sub DAS Air Hitam. Lokasi tersebut berada di Jalan MRS. Amin dan jalan tuanku tambusai. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa parit yang ada pada Jl. MRS. Amin mengalir menuju sungai utama yaitu pada jalan tuanku Tambusai kemudian diteruskan ke sungai Utama yaitu Sungai Siak. Dilihat kondisi existing nya pengaliran bagus dan lancar tidak ada kerusakan bangunan drainase pada tempat tersebut.

C. Sub DAS Senapelan

Dari Gambar 4.72, dilakukan pemetaan jaringan sungai pada wilayah Kota Pekanbaru. Salah satu jaringan tersebut adalah sub DAS Senapelan. Berdasarkan pemetaan pada Gambar 4.72 tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui letak sungai-sungai dan bentuk bangunannya pada sub DAS Senapelan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.73 berikut ini.

Dokumentasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.78 merupakan salah satu dari cabang anak sungai Senapelan. Terdapat sungai besar sebagai penerima air dari cabang-cabang sungai lainnya. Sungai ini akan mengalir ke sungai utama yaitu sungai Siak. Lokasi cabang sungai senapelan ini terletak di Jl. Kulim. Dilihat dari kondisi kebersihan sungai, sungai tersebut menjadi tempat pembuangan sampah, apabila dibiarkan terus menerus hal ini bisa mengakibatkan banjir. Dari kondisi bangunannya sudah bagus, sudah terdapat dinding drainase sebagai penahan aliran air.



Gambar 4. 73 Cabang Sungai Senapelan

D. Sub DAS Sail

Dari Gambar 4.73, dilakukan pemetaan jaringan sungai pada wilayah Kota Pekanbaru. Salah satu jaringan tersebut adalah sub DAS Sail. Berdasarkan pemetaan pada Gambar 4.73 tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui letak sungai-sungai dan bentuk bangunannya pada sub DAS Sail, seperti yang diperlihatkan kan pada Gambar 4.74 berikut ini.



Gambar 4.74. Cabang Sungai Sail

Dilihat dari Tabel 4.45 Sungai Sail adalah sungai yang paling luas diantara sub DAS lainnya. Dari percabangannya juga merupakan cabang yang termasuk kategori mempunyai banyak cabang. Gambar 4.74 memperlihatkan salah satu lokasi percabangan Sungai Sail. Lokasi ini terletak di Jl. Hangtuah dan Jl. Parit Indah. Pada setiap loka-

si ini merupakan sungai yang besar, dan sungai ini akan mengalir lagi ke sungai utama yaitu sungai siak. Disamping dari sungai yang besar ini masih ada percabangan anak sungai yang kecil lainnya. Dilihat dari keadaan lokasinya, pada sungai parit indah ada pemeliharaan yang dilakukan oleh pemerintah kota, namun pada Jl. Hangtuah sungai sail tidak terpelihara, sehingga kondisinya masih banyak tumpukan sampah pada sungai tersebut.

E. Sub DAS Tenayan

Dari Gambar 4.74, dilakukan pemetaan jaringan sungai pada wilayah Kota Pekanbaru. Salah satu jaringan tersebut adalah sub DAS Tenayan. Berdasarkan pemetaan pada Gambar 4.74 tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui apakah ada atau tidaknya sungai yang digambarkan dalam pemetaan jaringan sungai menggunakan data DEM dan ingin mengetahui bagaimana bentuk bangunannya pada sub DAS Tenayan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.62 berikut ini.



Gambar 4. 75 Cabang sungai Tenayan

Dari Gambar 4.75 terlihat salah satu cabang sungai dari sungai Tenayan, lokasi sungai ini terletak di Jl. Badak, Tenayan Raya. Tabel 4.45 menjelaskan sub DAS Tenayan memiliki luas yang besar dan memiliki percabangan sungai yang banyak, dilihat dari lokasi di area cabang sungai Tenayan banyak aliran drainase yang kering dan tidak terpelihara.

F. Sub DAS Pendanau

Dari Gambar 4.75, dilakukan pemetaan jaringan sungai pada wilayah Kota Pekanbaru. Salah satu jaringan tersebut adalah sub

DAS Pendanau. Berdasarkan pemetaan pada Gambar 4.75 tersebut, kemudian dilaksanakan pengamatan langsung untuk mengetahui apakah ada atau tidaknya sungai yang digambarkan dalam pemetaan jaringan sungai menggunakan data DEM dan ingin mengetahui bagaimana bentuk bangunannya pada sub DAS Pendanau, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.81 berikut ini.



Gambar 4. 76 Cabang Sungai Pendanau

Dari Gambar 4.76 terlihat salah satu cabang sungai dari sungai Pendanau, lokasi sungai ini terletak di Jl. Melebung, Tenayan Raya. Tabel 4.45 menjelaskan sub DAS Pendanau memiliki luas yang kecil dan memiliki percabangan sungai yang sedikit, dilihat dari lokasi di area cabang sungai Pendanau banyak aliran drainase yang kering dan tidak terpelihara sehingga menghasilkan debit yang kecil.

4.4.5. Usulan Upaya Mitigasi Banjir di Perkotaan di DAS Siak

Pada umumnya penanganan banjir perkotaan dimitigasi melalui sistem drainase. Pengelolaan drainase perkotaan harus dilaksanakan secara menyeluruh, mengacu pada SIDLACOM (Survey, Investigation, Design, Land Acquisition, Construction, Operation and Maintenance). Tahapan SIDLACOM adalah sebagai berikut; Survey lapangan, Investigation (investigasi) aspek teknis, sosial, ekonomi, lingkungan dan kelembagaan, tahap Design (perencanaan) teknis seperti disain bangunan air, dan non-teknis misalnya berupa kegiatan peningkatan SDM dan kelembagaan, Land Acquisition (pembebasan lahan) di sekitar DAS, Construction (konstruksi) bangunan air, Operation (operasi) kegiatan bangunan air dan Maintenance (pemeliharaan) nya. Sekali lagi ditekankan bahwasanya peningkatan

kapasitas kelembagaan, pembiayaan serta partisipasi masyarakat adalah penting dalam menyukseskan program mitigasi banjir ini. Peningkatan pemahaman mengenai sistem drainase kepada pihak yang terlibat baik pelaksana maupun masyarakat perlu dilakukan secara berkesinambungan. Agar penanganan permasalahan sistem drainase dapat dilakukan secara terus menerus dengan sebaik-baiknya.

Drainase Berwawasan Lingkungan

Adalah pengelolaan drainase yang tidak menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan. Terdapat 2 (dua) pola yang umum dipakai untuk mengelola drainase yang berwawasan lingkungan:

- a. Pola detensi (menampung air sementara), misalnya dengan membuat kolam penampungan _ kolam detensi.
- b. Pola retensi (meresapkan), antara lain dengan membuat sumur resapan, saluran resapan, bidang resapan atau kolam resapan _ kolam retensi.

Pengendalian Banjir (Flood Control)

Pengendalian Banjir adalah upaya mengendalikan aliran permukaan dalam sungai maupun dalam badan air yang lainnya agar tidak meluap serta limpas atau menggenangi daerah perkotaan. Pengendalian banjir merupakan tanggung jawab pemerintah Propinsi atau Pemerintah Pusat. Konstruksi atau bangunan air pada sistem flood control antara lain berupa:

- Tanggul
- Bangunan Bagi
- Pintu Air
- Saluran Flood Way

Berdasarkan fisiknya, sistem drainase terdiri atas saluran primer, sekunder, tersier sebagai berikut:

Sistem Saluran Primer

Saluran primer adalah saluran yang menerima masukan aliran dari saluran-saluran sekunder. Saluran primer relatif besar sebab letak saluran paling hilir. Aliran dari saluran primer langsung dialirkan ke badan air.

Sistem Saluran Sekunder

Saluran terbuka atau tertutup yang berfungsi menerima aliran air dari saluran-saluran tersier dan meneruskan aliran ke saluran primer.

Sistem Saluran Tersier

Saluran drainase yang menerima aliran air langsung dari saluran-saluran pembuangan rumahrumah. Umumnya saluran tersier ini adalah saluran kiri kanan jalan perumahan. Untuk Kota-kota air seperti Palembang, Banjarmasin dan Pontianak agak sulit menentukan dan membedakan mana sungai dan saluran drainase. Sebab aliran yang dipengaruhi pasang laut yang tinggi terkadang berputar arah alirannya.

Pengendalian banjir dapat dibagi ke dalam 2 areal berikut:

- a. Untuk areal urban adalah upaya untuk mengendalikan aliran banjir pada sungai yang melintasi kota agar muka air banjir tidak melampau tanggul kanan dan tanggul kirinya (*overtopping*) yang akan menyebabkan banjir/genangan di dalam kota.
- b. Untuk Daerah Aliran Sungai adalah upaya untuk menghindari terjadinya banjir pada lahan-lahan produktif.

Berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, antara lain berisi pengaturan wewenang dan tanggung jawab Pemerintah, Pemerintah Provinsi, Pemerintah Kabupaten/Kota dan Pemerintah Desa.

Direkomendasikan agar wewenang dan tanggung jawab Pemerintah dapat dilaksanakan dalam tataran praktis dalam hal:

- a. menetapkan kebijakan nasional sumber daya air,
- b. menetapkan pola pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas provinsi, wilayah sungai lintas negara dan wilayah sungai strategis nasional;
- c. menetapkan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas provinsi, wilayah sungai lintas negara dan wilayah sungai strategis nasional;
- d. menetapkan dan mengelola kawasan lindung sumber air pada wilayah sungai lintas provinsi, wilayah sungai lintas negara dan wilayah sungai strategis nasional;

- e. melaksanakan pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas provinsi, wilayah sungai lintas negara dan wilayah sungai strategis nasional;
- f. mengatur, menetapkan, dan member izin atas penyediaan, peruntukan, penggunaan, dan pengusahaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas provinsi, wilayah sungai lintas negara dan wilayah sungai strategis nasional;
- g. mengatur, menetapkan, dan memberi rekomendasi teknis atas penyediaan, peruntukan, penggunaan, dan pengusahaan air tanah pada cekungan air tanah lintas provinsi dan cekungan air tanah lintas negara;
- h. membentuk Dewan Sumber Daya Air Nasional, dewan sumber daya air wilayah sungai lintas provinsi, dan dewan sumber daya air wilayah sungai strategis nasional;
- i. memfasilitasi penyelesaian sengketa antarprovinsi dalam pengelolaan sumber daya air;
- j. menetapkan norma, standar, kriteria, dan pedoman pengelolaan sumber daya air;
- k. menjaga efektifitas, efesiensi, kualitas, dan ketertiban pelaksanaan pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas provinsi, wilayah sungai lintas negara dan wilayah sungai strategis nasional; dan
- l. memberikan bantuan teknis dalam pengelolaan sumber daya air kepada pemerintah provinsi dan pemerintah kabupaten/kota.

Direkomendasikan agar wewenang dan tanggung jawab Pemerintah Provinsi meliputi :

- a. menetapkan kebijakan pengelolaan sumber daya air di wilayahnya berdasarkan kebijakan nasional sumber daya air dengan memperhatikan kepentingan provinsi sekitarnya;
- b. menetapkan pola pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas kabupaten/kota;
- c. menetapkan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas kabupaten/kota dengan memperhatikan kepentingan provinsi sekitarnya;
- d. menetapkan dan mengelola kawasan lindung sumber air pada wilayah sungai lintas kabupaten/kota;

- e. melaksanakan pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas kabupaten/kota dengan memperhatikan kepentingan provinsi sekitarnya;
- f. mengatur, menetapkan, dan memberi izin atas penyediaan, peruntukan, penggunaan, dan pengusaha sumber daya air pada wilayah sungai lintas kabupaten/kota;
- g. mengatur, menetapkan, dan memberi rekomendasi teknis atas penyediaan, pengambilan, peruntukan, penggunaan dan pengusaha air tanah pada cekungan air tanah lintas kabupaten/kota;
- h. membentuk dewan sumber daya air atau dengan nama lain di tingkat provinsi dan/atau pada wilayah sungai lintas kabupaten/kota;
- i. memfasilitasi penyelesaian sengketa antarkabupaten/kota dalam pengelolaan sumber daya air;
- j. membantu kabupaten/kota pada wilayahnya dalam memenuhi kebutuhan pokok masyarakat atas air;
- k. menjaga efektivitas, efisiensi, kualitas, dan ketertiban pelaksanaan pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai lintas kabupaten/kota; dan
- l. memberikan bantuan teknis dalam pengelolaan sumber daya air kepada pemerintah kabupaten/kota.

Direkomendasikan agar wewenang dan tanggung jawab Pemerintah Kabupaten/Kota meliputi:

- a. menetapkan kebijakan pengelolaan sumber daya air di wilayahnya berdasarkan kebijakan nasional sumber daya air dan kebijakan pengelolaan sumber daya air provinsi dengan memperhatikan kepentingan kabupaten/kota sekitarnya;
- b. menetapkan pola pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai dalam satu kabupaten/kota;
- c. menetapkan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai dalam satu kabupaten/kota dengan memperhatikan kepentingan kabupaten/kota sekitarnya;
- d. menetapkan dan mengelola kawasan lindung sumber air pada wilayah sungai dalam satu kabupaten/kota;
- e. melaksanakan pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai dalam satu kabupaten/kota dengan memperhatikan kepentingan kabupaten/kota sekitarnya;

- f. mengatur, menetapkan, dan memberi izin penyediaan, peruntukan, penggunaan, dan pengusahaan air tanah di wilayahnya serta sumber daya air pada wilayah sungai dalam satu kabupaten/kota;
- g. membentuk dewan sumber daya air atau dengan nama lain di tingkat kabupaten/kota dan/atau pada wilayah sungai dalam satu kabupaten/kota;
- h. memenuhi kebutuhan pokok minimal sehari-hari atas air bagi masyarakat di wilayahnya; dan
- i. menjaga efektivitas, efisiensi, kualitas, dan ketertiban pelaksanaan pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai dalam satu kabupaten/kota.

4.5 Kerangka Fikir atau Kerangka Kerja (Frame Work) Mitigasi Kebakaran Lahan Gambut

Kerangka kerja mitigasi kebakaran lahan ini dibagiah atas 3 langkah utama; (i) memahami lebih dalam tentang apa itu kebakaran gambut, (ii) penilaian cepat (*rapid assessment*), (iii) mengembangkan early warning, dan (iv) tanggap darurat (*quick responds*).

4.5.1. Memahami Kebakaran Gambut

Kebakaran lahan gambut (Peatland Fire) dapat dibedakan dari kebakaran gambut (Peat Fire). Kebakaran lahan gambut (Peatland Fire) adalah kebakaran pada permukaan tanah gambut (surface fires). Sedangkan kebakaran gambut (peat fire) adalah kebakaran di lahan gambut yang dapat masuk dan membakar secara perlahan sampai ke dalam tanah gambut (ground fires burn into peat soils). (Mark Cochrane, 2014)

Biasanya kebakaran lahan gambut dapat masuk dan membakar tanah gambut ketika tanah gambut dalam keadaan kering.

a. Karakteristik

Kebakaran gambut mempunyai karakteristik yang unik, misalnya; (i) memakan tanah gambut kering sampai kedalaman tertentu (biasanya sampai batas muka air tanah atau tanah keras di bawahnya), (ii) terbakar secara perlahan, (iii) menyebar secara perlahan, dan (iv) mengubah permukaan tanah menjadi lebih kasar, serta (vi)

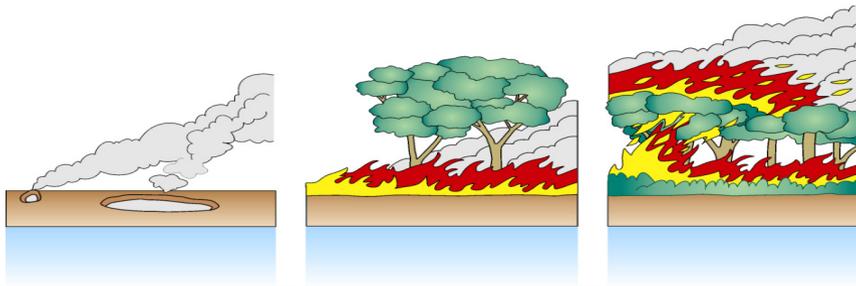
menghasilkan kabut asap. Kebakaran gambut yang didominasi serasah sangat mudah terbakar.

b. Tipe

Secara umum tipe kebakara dapat dibagi atas 3 jenis; (i) kebakaran lahan, (ii) kebakaran permukaan tanah, dan (iii) kebakaran pucuk pohon.

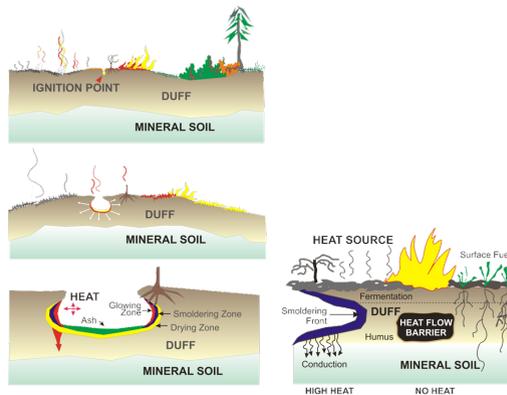
Kebakaran lahan biasanya menghasilkan emisi kabut asap yang banyak, sedangkan kebakaran permukaan tanah menghasilkan api yang besar, dan kebakaran pucuk mengakibatkan kebakaran yang sangat besar dengan api yang tinggi.

Namun kebakaran lahan terutama kebakaran di taah gambut dampak asapnya dapat terjadi dalam bilangan bulan dan sulit dipadamkan. Apalagi jika kejadian kebakaran sudah sampai masuk ke dalam tanah gambut, maka api akan sangat sulit dipadamkan.



(i) kebakaran lahan (ii) kebakaran permukaan tanah (iii) kebakaran pucuk pohon.

Gambar 4.77 Tipe Kebakaran



Gambar 4. 78 Proses kebakaran tanah gambut

c. Proses Kebakaran Tanah Gambut

Proses kebakaran tanah gambut adalah dinamis dan kompleks (Mark Cochrane, 2014). Secara garis besar dimulai dari kondisi alam (dalam hal ini cuaca) yang relative panas, curah hujan rendah, kelambaban udara dan tanah rendah, angin relatif kuat, dan temperature udara yang panas, sehingga tanah gambut menjadi relative kering dan mudah terbakar. Adanya pemicu kebakaran baik karena ulah manusia (membakar lahan untuk pertanian, perladangan dan membuka lahan baru) dapat mengakibatkan terjadinya api liar yang tidak terkendali dan membakar lahan gambut dan akhirnya membakar tanah gambut itu sendiri sampai masuk ke dalam tanah secara perlahan. Api yang ada dipermukaan tanah awalnya mungkin saja membakar permukaan tanah kering dan serasah, kemudian secara perlahan api kecil (*smoldering*) memanaskan lapisan tanah dibawahnya sehingga lapisan tanah gambut di bawahnya menjadi kering, dan lapisan gambut kering itu (*duff*) mulai terbakar dan apipun mulai masuk ke dalam tanah secara perlahan membentuk bara (*glowing*) yang terus memanaskan gambut disekitarnya sehingga menjadi kering dan mudah terbakar. Pergerakan api ini dapat terjadi secara 3 dimensi, ke bawah, ke samping dan ke atas. Sehingga tanah menjadi berlubang-lubang dan permukaan tanahpun berubah bentuk menjadi kasar.

Berdasarkan kejadian kebakaran gambut di Kampar, Provinsi Riau, 20 September 2015, kebakaran mengubah permukaan lahan secara cepat (kurang dari 1 bulan) dari permukaan tanah lahan gambut yang relative rata, menjadi kasar dan berlubang (gambar di bawah).



Gambar 4. 79 Kebakaran gambut mengubah permukaan tanah gambut
Sumber: Dokumentasi, 20 September 2015.

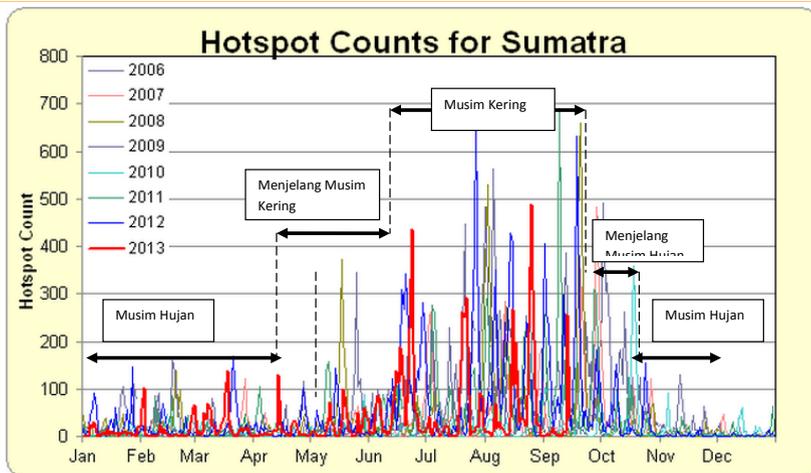
Perubahan signifikan ini terjadi karena api kecil terus terjadi di lapisan bawah tanah gambut yang sulit dijangkau dan dimatikan oleh masyarakat dan aparat pemerintah. Sehingga api bawah tanah gambut ini terus bertahan sampai awal bulan Nopember 2015 (2 bulan).

4.5.2. Penilaian Cepat (Rapid Assessment) berdasarkan kondisi eksisting di lapangan

Penilaian cepat ini adalah melakukan diagnostik atau kajian cepat tentang kejadian kebakaran berdasarkan magnitudo frekuensi kejadian dan lokasi terjadinya kebakaran, kajian kondisi lahan dari aspek tata air sebagai akar masalah kebakaran dan mengidentifikasi dalam upaya peringatan dini dan aksi cepat penanganan kebakaran (Darmanto, 2015).

a. Titik Api di Provinsi Riau, 2006-2013

Berikut ini dipaparkan kejadian titik api untuk Pulau Sumatera 2006-2013 per bulannya.



Gambar 4. 80 Titik api di Sumatera 2006-2013.

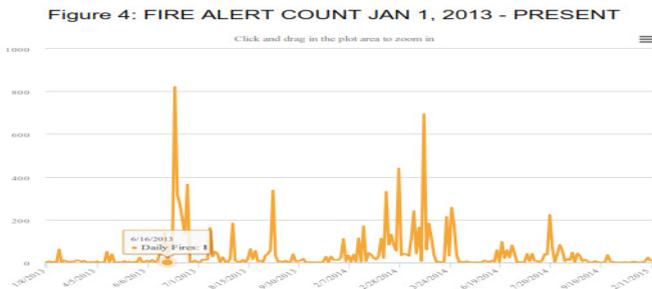
Gambar di atas menunjukkan terjadinya kecenderungan perulangan peristiwa kebakaran dalam tingkatan: (i) rendah, (ii) sedang, (iii) tinggi, dan (iv) ekstrim.

- **Tingkatan Rendah:** titik kebakaran lahan diidentifikasi kurang dari 30 kejadian perhari yang biasanya terjadi dalam bulan bulan hujan seperti awal bulan November dan Desember.
- **Tingkatan Sedang:** titik kebakaran lahan diidentifikasi terjadi kurang dari 200 kejadian perhari yang biasanya terjadi dalam bulan bulan hujan seperti awal bulan Januari, Februari, Maret, April, dan Mei. Bulan hujan mulai berkurang dan menjelang bulan Mei kondisi cuaca kering sudah mulai.
- **Tingkatan Tinggi:** titik kejadian kebakaran sudah relative sering dan tinggi sekitar 400 kejadian perhari. Hal ini umumnya terjadi pada bulan Juni dan Juli di musim kering.
- **Tingkatan Ekstrim:** titik kejadian kebakaran sudah mencapai tingkatan yang sangat tinggi sampai 700 kebakaran per hari. Ini terjadi dipuncak musim panas bulan Agustus, September sampai bulan Oktober. Sedangkan pada bulan Nopember kejadian kebakaran cenderung menurun dibanding bulan-bulan sebelumnya.

Kecenderungan ini masih tetap berulang hampir tiap tahunnya, sehingga perlu untuk lebih dipahami dalam upaya mitigasi bencana kebakaran ini.

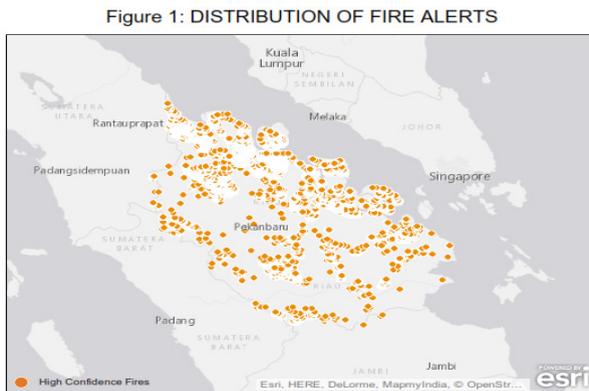
b. Titik Api di Provinsi Riau, 2013-2015

Dalam periode 2013-2015 terjadi kecenderungan penurunan tingkat bahaya kebakaran di Provinsi Riau secara signifikan, ditandai dengan berkurangnya titik kebakaran tiap tahunnya. Namun terjadi keadaan anomaly cuaca akibat badai El-Nino sehingga bulan hujan menjadi lebih singkat dan bulan kering menjadi lebih panjang dan tidak teratur. Akibatnya kejadian kebakaran lahan yang ekstrim terjadi dibulan Juni 2013, dan Maret 2014. Identifikasi titik kebakaran 2013-2015 di Provinsi Riau seperti pada gambar 4.81



Gambar 4. 81 Identifikasi titik kebakaran 2013-2015 di Provinsi Riau.
Sumber : Global Forest Watch, 2015, <http://firest.globalforestwatch.org>

Jumlah titik api yang terjadi di Provinsi Riau di tahun 2015 cenderung lebih rendah dibanding tahun-tahun sebelumnya (2013-2014).



Gambar 4. 82 Penyebaran titik api yang terpantau
Sumber : Global Forest Watch, 2015
<http://firest.globalforestwatch.org>

c. Titik Api Berdasarkan Kabupaten (Districts) di Provinsi Riau, 2015
 Berdasarkan data titik api perkabupaten di Provinsi Riau 2015 di rekapitulasi sebagai berikut:

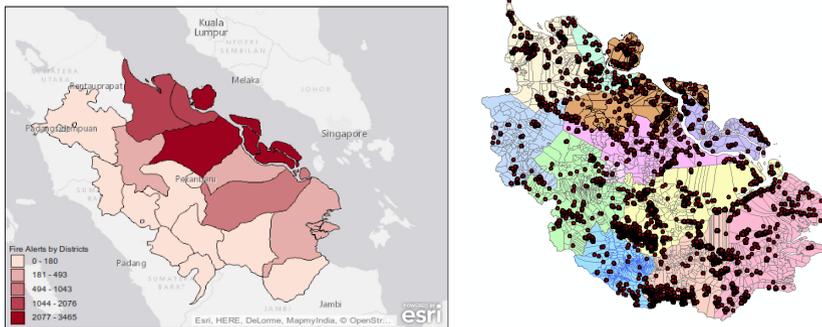
Tabel 4. 47 Tata guna lahan daerah penelitian

REKAPITULASI HOTSPOT PANTAUAN SATELIT MODIS
 PERIODE 1 JANUARI - 9 DESEMBER 2015

NO	KABKOT	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGUS	SEP	OKT	NOV	DES	TOTAL
1	BENGKALIS	41	279	662	322	72	73	325	39	36	22	12	4	1887
2	DUMAI	0	12	87	38	10	24	135	6	8	0	0	0	320
3	INDRAGIRI HILIR	16	33	24	60	50	55	161	117	158	80	10	1	765
4	INDRAGIRI HULU	16	2	0	18	10	46	236	202	369	156	5	2	1062
5	KAMPAR	4	3	10	30	24	27	106	45	121	0	4	0	374
6	KEPULAUAN MERANTI	4	39	148	32	22	13	36	7	4	51	6	1	363
7	KUANTAN SINGINGI	11	1	0	4	0	20	55	19	52	9	0	0	171
8	PEKANBARU	0	0	4	0	0	0	7	3		0	0	0	14
9	PELALAWAN	46	81	176	156	146	191	461	167	508	54	22	0	2008
10	ROKAN HILIR	2	31	56	20	16	114	368	31	19	0	0	0	657
11	ROKAN HULU	1	8	24	2	6	15	45	8	22	2	0	0	133
12	SIAK	4	59	68	152	68	44	164	42	58	30	7	2	698
JUMLAH		145	548	1259	834	424	622	2099	686	1355	404	66	10	8452

Sumber: Badan Penganggulangan Bencana Daerah, Provinsi Riau, 2015

Adapun wilayah kabupaten yang terbanyak titik apinya dapat dilihat di gambar berikut ini:

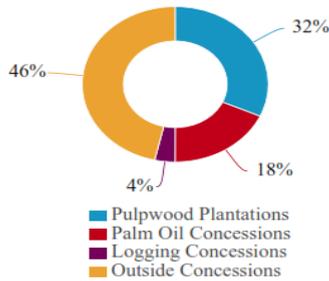


Gambar 4. 83 wilayah kabupaten yang terbanyak titik api 2015

Sumber : Global Forest Watch, 2015 <http://firest.globalforestwatch.org>. dan Badan Penganggulangan Bencana Daerah, Provinsi Riau, 2015

Terlihat dari table dan gambar di atas, wilayah kabupaten yang terbanyak terjadinya titik api selama 2015 adalah kabupaten Pelalawan, Indragiri Hulu dan Bengkalis dengan jumlah titik api lebih dari 1000 titik.

d. Titik Api di Provinsi Riau, 2015



Gambar 4.84 Titik api berdasarkan wilayah perkebunan dan pertanian di Provinsi Riau, 2015

Berdasarkan gambar di atas terlihat 46% kejadian kebakaran lahan di Provinsi Riau terjadi di area masyarakat di luar area konsepsi perusahaan. Sedangkan penyumbang kebakaran ke dua terbesar adalah area pengusahaan kayu pulp (*pulpwood*) sebesar 32% dengan total 2896 kejadian kebakaran di tahun 2015.

e. Perubahan Tataruang dan tatagunalahan

Tataruang di DAS Siak mengalami perubahan yang signifikan selama 10 tahun terakhir (2003-2013) dengan persentase perubahan yang terbesar berasal dari tutupan lahan hutan yang berkurang lebih dari 92% (sehingga hutan alam saat ini tersisa kurang dari 10%), tanaman karet berkurang 67%, sedangkan tanaman kelapa sawit naik sebanyak 33%. Sehingga di DAS Siak ini tutupan tanama kelapa sawit sudah mendominasi sampai lebih dari 40% dari tutupan lahan di DAS Siak Tabel 4.47

Tabel 4.48 Perubahan tataguna lahan

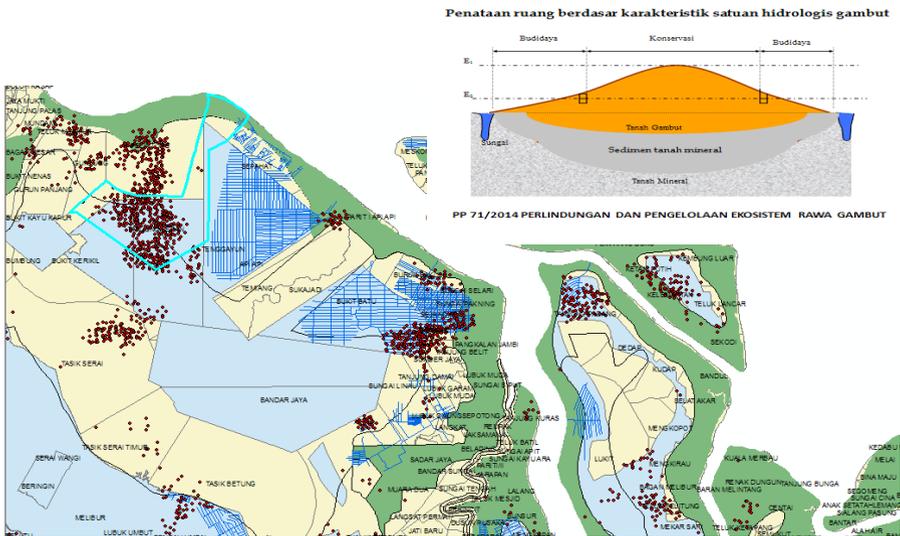
Tahun		2003	2005	2007	2009	2011	2013	Perubahan Luas Lahan	Persentase Perubahan
Luas Lahan (Ha)	Kelapa Sawit	345.668,42	374.596,30	403.129,48	406.776,73	416.433,08	459.708,00	114.039,58	33%
	Karet	14.019,16	11.955,35	16.622,31	16.622,32	14.545,32	4.666,96	-9.352,20	-67%
	Pertanian	298.664,74	269.983,49	284.033,51	315.860,16	341.787,80	343.243,43	44.578,69	15%
	Hutan	142.092,80	75.521,57	47.505,63	21.482,90	21.482,35	10.940,46	-131.152,34	-92%
	HTI	129.714,75	109.963,49	153.145,19	150.228,56	131.659,17	139.439,99	9.725,24	7%

Dengan berubahnya luasan hutan dan bertambahnya usikan manusia terhadap lahan yang ada melalui penebangan, dan pembersihan hutan dan lahan melalui cara pembakaran untuk penambahan area perkebunan kelapa sawit, pertanian dan hutan tanaman industry, maka api liar dari proses pembakaran itu mengakibatkan terjadinya kebakaran tidak terkendali.

Perubahan tataguna lahan menjadi salahsatu faktor utama pemicu terjadinya kebakaran lahan di DAS Siak ini.

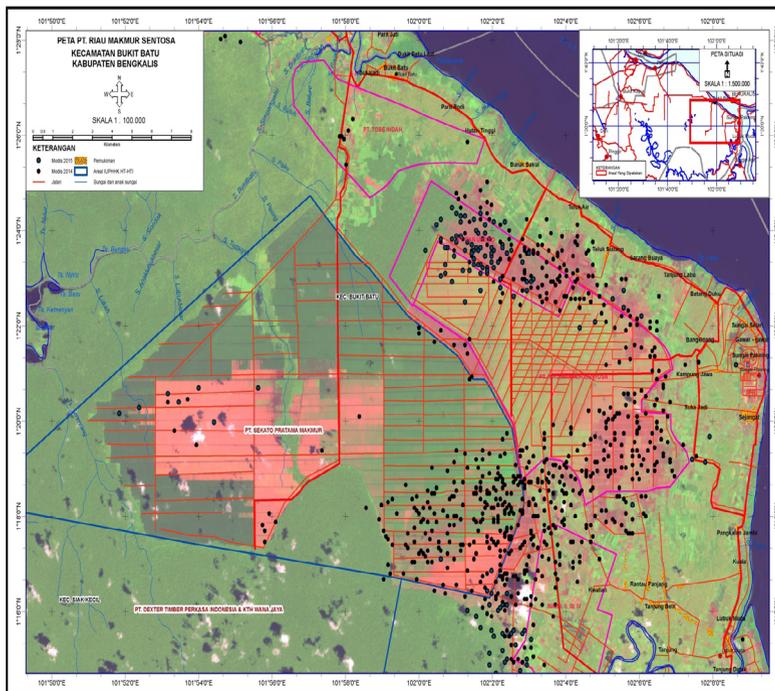
f. Sistem Jaringan Tata Air

Sistem jaringan tata air di area tinjauan di Bengkalis adalah kanalisasi seperti tertera dalam gambar berikut.



Gambar 4.84 Kondisi lahan gambut eksisting di Kabupaten Bengkalis yang sudah dibuat area pertanian dengan kanal-kanal.

Kondisi lahan gambut sebagai satuan kesatuan hidrologis di Kabupaten Bengkalis yang saat ini sudah dikeringkan dan dibuat area pertanian dengan sejumlah kanal yang besusun dalam area yang relatif luas (Gambar di atas).



Gambar 4. 85 Peta Saluran/kanal di Kecamatan Bukit Batu Kabupaten Bengkulu

Dengan dibangunnya kanal-kanal ini maka kondisi lahan rawa gambut yang awalnya banyak menyimpan air menjadi kering dan dapat ditanami terutama tanaman kelapa sawit. Ketika dimusim hujan kondisi air di dalam kanal menjadi penuh dan berlimpah, namun dalam musim kering, kondisi air di dalam kanal dapat surut bahkan kering. Sehingga saat terjadinya kebakaran lahan, maka *supply* air untuk pemadaman api menjadi relatif sulit didapat.

4.5.3. Peringatan dini (early warning) berdasarkan kondisi eksisting di lapangan

Early warning diperlukan sebagai langkah untuk mengantisipasi risiko bahaya kebakaran lahan pada periode pra-kebakaran dan/atau saat awal kejadian kebakaran (forest fire danger rating system, FDRS). Peringatan dini ini adalah upaya untuk menekan secara efektif kejadian kebakaran.

Pada kondisi di lapangan untuk memantau kebakaran pemerintah dan badan-badan swasta lainnya membuat suatu papan infor-

masi mengenai tingkat bahaya kebakaran hutan dan lahan di desa Tanjung Leban. Papan informasi ini dikelola oleh Masyarakat Peduli Api dalam mengubah indikator setiap harinya. MPA menilai indikator yang terdiri dari 4 warna ini dengan arti sebagai berikut:

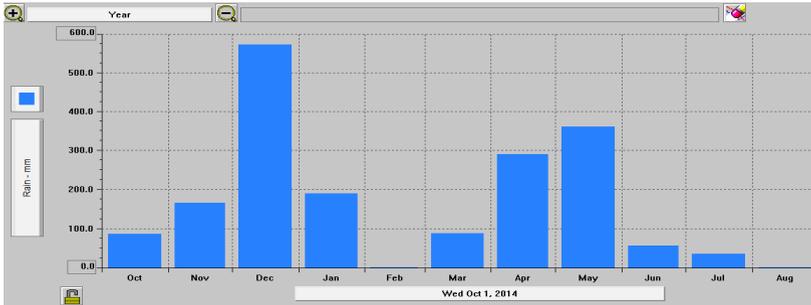
- **Biru (Aman)**
Tidak ada satu titik panas yang terjadi, kondisi hujan, banjir, tidak panas, dan lembab.
- **Hijau (Kurang Aman)**
Kondisi temperatur tinggi dan cuaca panas, siang cuaca panas dan malam terjadi hujan.
- **Kuning (Tidak Aman)**
Tidak ada hujan maupun kondisi kering (tidak ada hujan), cuaca panas dan temperatur tinggi. Pada kondisi ini keadaan sudah siaga, alat berupa pompa robin (3 unit) dengan selang 1,5 inci panjang 80 m sudah disiapkan untuk mengantisipasi jika terjadi kebakaran. Pada kondisi ini belum ada asap yang terjadi, hanya kondisi siaga atau tidak aman.
- **Merah (Berbahaya)**
Telah terjadi kebakaran di hutan atau lahan dan seluruh instansi baik MPA maupun masyarakat serta pihak lainnya turut membantu mengatasi kebakaran. Kondisi daerah tidak hujan dan cuaca panas.



Gambar 4. 86 Papan Informasi Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan dan Lahan

4.5.1.1 Hujan

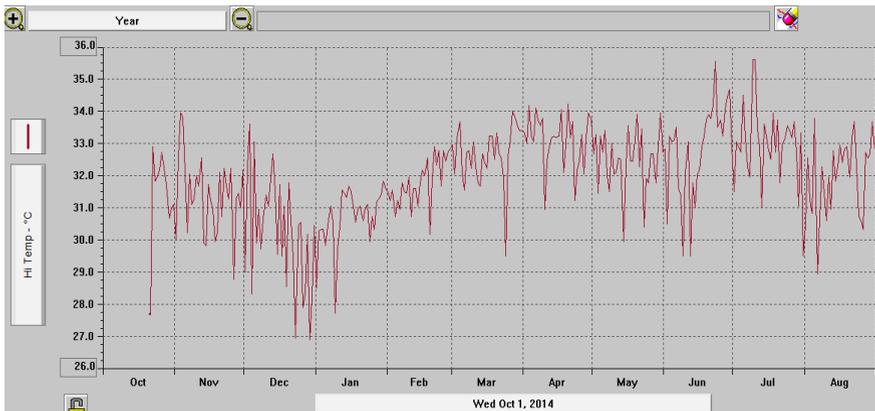
Pada periode 21 Oktober 2014- 31 Agustus 2015 (11 bulan), curah hujan tertinggi adalah di bulan Desember 2014 (500mm), dan terendah terjadi pada bulan Februari, Juni, Juli, Agustus, September 2015, dimana curah hujan dari 1-1,35 inci. Grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 87 Grafik curah hujan periode 21 Oktober 2014-20 November 2014
Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014

4.5.1.2 Temperatur Udara Tertinggi (Hi Temp)

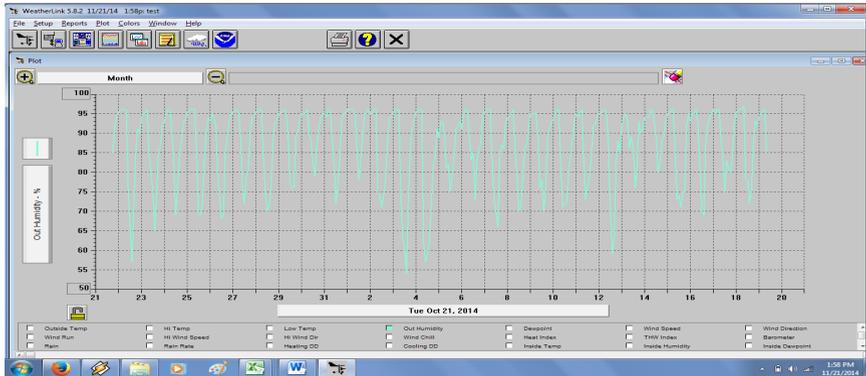
Temperatur udara tertinggi terjadi pada tanggal 22 Oktober dan 26 Oktober serta 2-5 dan 13 November 2014 dengan suhu dari 90 ° F – 93° F. Temperatur cuaca ini cenderung naik pada pertengahan sampai akhir tahun 2015.



Gambar 4. 88 Grafik Temperatur Udara periode 22 Oktober 2014-26 Oktober 2014
Sumber : Hasil Survey Tanggal 22 Oktober 2014-26 Oktober 2014

4.5.1.3 Kelembaban Udara Luar (Outside Humidity)

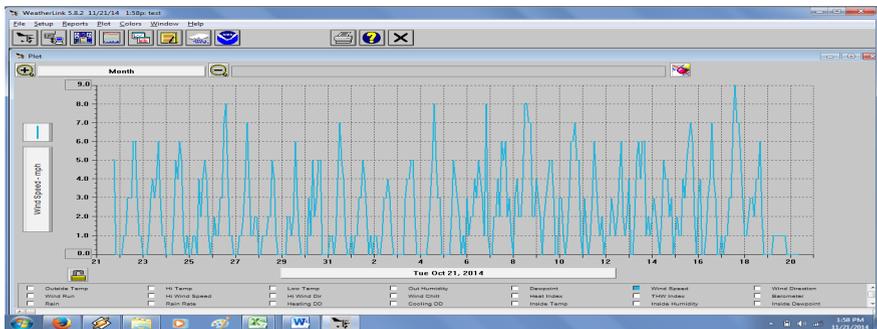
Kelembaban udara di luar atau pada lapangan berkisar antara 55-95 % selama periode 21 Oktober – 20 November 2014.



Gambar 4. 90. Grafik Kelembaban Udara Luar periode 21 Oktober 2014-20 November 2014. Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014

4.5.1.4 Kecepatan Angin (Wind Speed)

Kecepatan angin bervariasi dengan maksimal 9 mil/jam pada tanggal 17 November 2014 dan 8 mil/jam pada tanggal 27 Oktober, 4,7, dan 9 November 2014.



Gambar 4. 91. Grafik Kecepatan angin periode 21 Oktober 2014-20 November 2014
Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014

4.5.1.5 Arah Angin (Wind Direction)

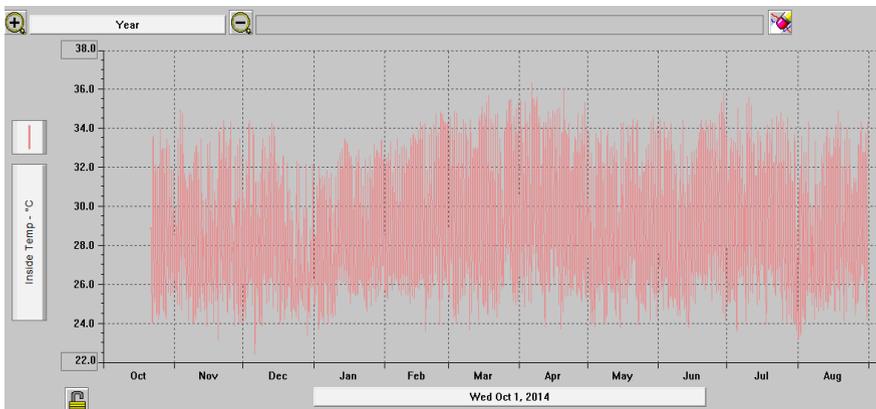
Arah angin di lokasi penelitian berubah-ubah dari timur-utara-barat-selatan.



Gambar 4. 92. Grafik Arah angin periode 21 Oktober 2014-20 November 2014
 Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014

4.5.1.6 Temperatur Dalam Tanah (Inside Temperatur)

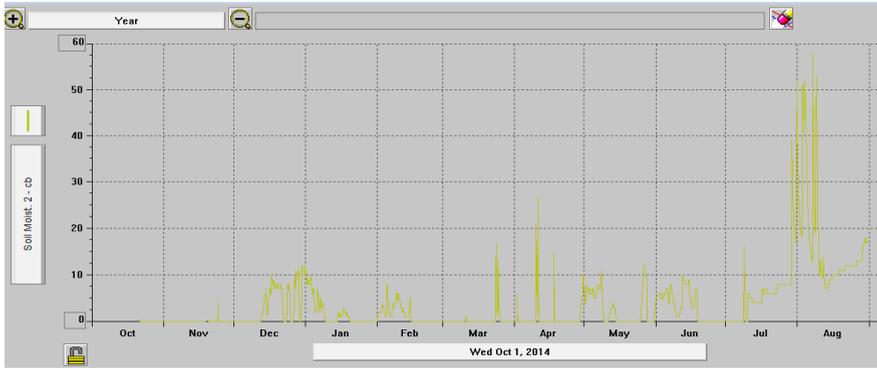
Temperatur dalam tanah dengan kedalaman 1 meter adalah berkisar antara 75-95° F. Temperatur maksimum (95° F) terjadi pada tanggal 3 dan 4 November 2014 sedangkan temperatur terendah (75° F) pada tanggal 22, 25, 28 Oktober dan 9, 10, 15 November 2014. **Max** Agustus >50 centibar.



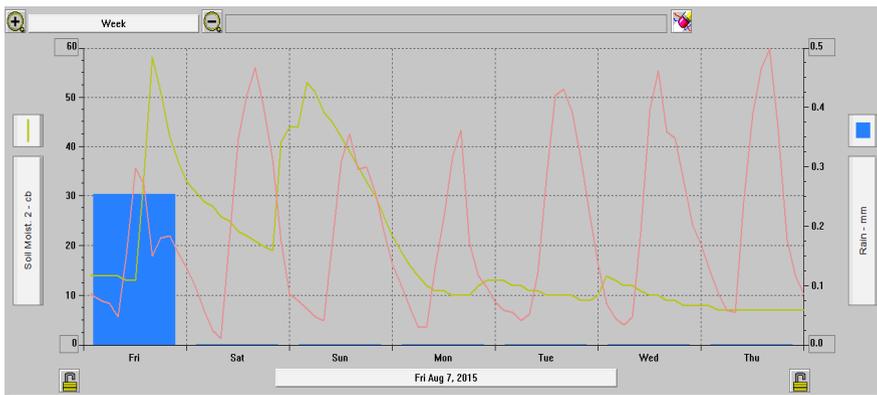
Gambar 4. 93. Grafik Temperatur dalam tanah periode 21 Oktober 2014-20 November 2014
 Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014

4.5.1.7 Kelembaban Udara Dalam Tanah (Inside Humidity)

Kelembaban udara di dalam tanah dengan kedalaman 1 meter berkisar antara 50-100% selama periode 21 Oktober – 20 November 2014.



Gambar 4. 94. Grafik Kelembaban udara periode 21 Oktober 2014-20 November 2014
 Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014



Gambar 4. 95. Kombinasi Data Global Weather
 Sumber : Hasil Survey Tanggal 21 Oktober 2014 – 20 November 2014

4.5.1.8. Indeks Cuaca pemicu Kebakaran (*Fire Weather Index*)

Berdasarkan analisa dari data cuaca (hujan, temperature, kelembaban udara, kecepatan angin) dan kondisi tanah, maka dianalisa indeks cuaca pemacu kebakaran untuk wilayah kecamatan Bukit Batu, Bengkalis, provinsi Riau 2015 adalah sebagai berikut;

Tabel 4. 49. FWI

MONTH	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	FFMC CLASS	DC CLASS	FWI CLASS
DES15	50.7	1.6	10.0	0.3	2.2	0.1	MEDIUM	LOW	LOW
JAN15	51.2	1.6	9.2	0.5	2.2	4.0	MEDIUM	LOW	MEDIUM
FEB15	49.4	2.2	12.0	0.5	3.0	5.0	MEDIUM	LOW	MEDIUM
MAR15	57.1	3.4	320	0.5	5.2	11.0	MEDIUM	HIGHT	HIGHT
APR15	55.9	2.4	245	0.44	3.2	12.0	MEDIUM	MEDIUM	HIGHT
MEI15	65.8	27	250	7.0	67.0	14.0	MEDIUM	MEDIUM	EXTREME
JUN15	64.1	14.1	310	10	55	14.0	MEDIUM	HIGHT	EXTREME
JUL15	70.4	25.0	350	5.0	60.0	15.0	HIGHT	HIGHT	EXTREME

Secara umum kondisi berbahaya sudah mulai terjadi dibulan Maret, April, dan kondisi ekstrim terjadi pada bulan-bulan setelah itu Mei, Juni, Juli 2015. Disebabkan karena masih terbatasnya data, maka gambaran indek cuaca pemacu kebakaran dipaparkan sampai bulan juli 2015 saja. Namun dalam kenyataannya sampai bulan Oktoer 2015 kondisi cuaca di wilayah yang ditinjau masih kering dan tanpa hujan, maka diperkirakan indek cuaca pemacu kebakaran juga masih berbahaya dan ekstrim.

Aspek Muka Air Tanah dan Kedalaman Gambut

Kedalaman muka air tanah lahan gambut yang mengalami kebakaran pada tahun 2013 di CB GSK-BB Kab. Dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 49. Tinggi muka air tanah

Tinggi muka air (<i>water table</i>) pada lahan gambut bekas kebakaran hutan	
Titik Pengambilan Sampel	Titik batas turunnya permukaan air (<i>water table</i>)
Titik 1	48 cm
Titik 2	40 cm
Titik 3	42 cm
Titik 4	37 cm
Titik 5	45 cm
Titik 6	40 cm
Titik 7	39 cm
Titik 8	29 cm
Titik 9	33 cm
Rerata	39,22 cm

Keterangan yang dapat diambil dari grafik diatas bahwa lahan gambut yang terbakar pada tahun 2013 di Cagar Biosfer Giam Siak Kecil- Bukit Batu, Kab.Bengkalis, Riau terjadi disekitar permukaan sedalam 39,22 cm dari permukaan tanah gambut tersebut. Kebakaran itu terjadi di tanah gambut yang mengalami subsiden (penurunan permukaan tanah) akibat dari pembangunan kanal-kanal yang bertujuan mengalirkan air sehingga dapat dilakukannya aktivitas perkebunan di lahan tersebut. Meskipun tinggi muka air relatif baik rata-rata dibawah 40 cm. Pengambilan data pada musim hujan mempengaruhi tinggi muka air dilahan gambut. Diduga pada musim kemarau tinggi muka air akan lebih dari 40 cm yang menyebabkan daerah ini sangat rentan terjadinya kebakaran.

4.5.4. Tanggap Darurat (Rapid Responds)

Tanggap darurat adalah serangkaian tindakan kongkrit yang cepat dalam pembenahan akar masalah kebakaran lahan gambut baik berupa tindakan teknis berupa pendekatan social, ekonomi, pembenahan tataguna lahan, tataguna air dan pendekatan kelembagaan serta koordinasi dari berbagai pihak (stakeholders).

Tulisan ini menitik beratkan pada 3 aspek penting yaitu; (i) aspek hukum dan koordinasi, (ii) keterlibatan masyarakat melalui tinjauan masalah sosial ekonomi, dan (iii) tinjauan aspek teknis.

A. Tinjauan Aspek Hukum dan Koordinasi antar Stakeholders

Dasar pelaksanaan pengendalian bencana asap akibat kebakaran hutan dan lahan 2014 adalah :

- Peraturan Daerah Provinsi Riau Nomor 17 Tahun 2013 tentang Penanggulangan Bencana Alam.
- Peraturan Gubernur Riau nomor 72 Tahun 2014 tentang Pusat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Provinsi Riau.
- Peraturan Gubernur Riau Nomor 27 Tahun 2014 tentang Posedur Tetap Pengendalian Bencana Asap akibat Kebakaran Hutan dan Lahan
- Instruksi dan arahan Presiden pada 14 Maret 2014 membentuk Satuan Tugas Operasi Terpadu yaitu Satgas Pemadaman Api dan Asap; Satgas Perawatan dan Pelayanan Kesehatan; dan Satgas Penegakkan Hukum (gakkum).

- Arahan Presiden Republik Indonesia per 17 Maret 2014 pada apel siaga di depan 1.000 personil Satgas Operasi Terpadu di Lanud TNI AU Roesmin Nurjadin, Pekanbaru, untuk penanggulangan bencana asap dengan 2 tahap; (1) operasi tanggap darurat penanggulangan bencana asap dan (2) penertiban kawasan dan pencegahan bahaya asap. Tahap dua adalah pembangunan system dan prosedur aksi nyata sehingga bencana asap dapat dicegah, berlangsung selama 5 bulan, dari April sampai dengan September 2014.



Gambar 4. 96. Apel Siaga Di Depan 1.000 Personil Satgas Operasi Terpadu Di Lanud TNI AU Roesmin Nurjadin, Pekanbaru, 2014

Adapun struktur organisasi siaga darurat tingkat Provinsi Riau terbagi atas 3 tim utama yaitu; tim asistensi, tim analisa dan tim satgas bantuan (gambar berikut):

Tim Asistensi terdiri atas;

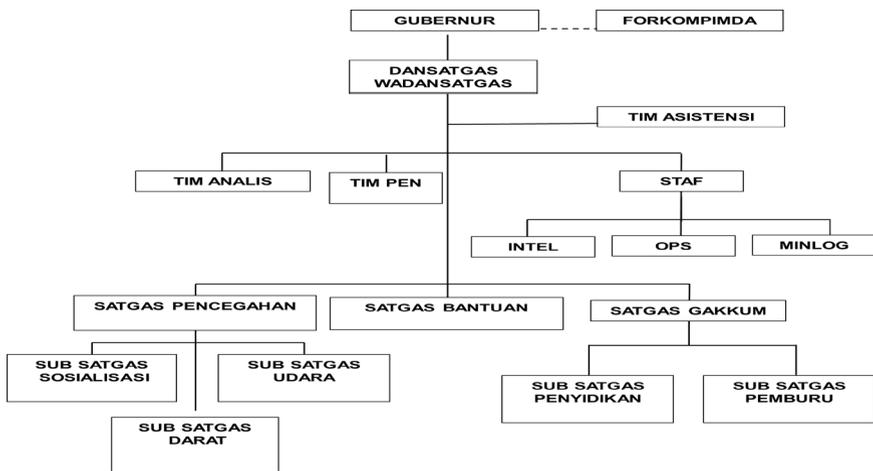
1. BPKP Perwakilan Provinsi.
2. BPN.
3. Dinas Kehutanan.
4. Dinas Perkebunan.
5. Dinas Kesehatan

Tim Analis terdiri atas;

1. KOMINDA.
2. BMKG.
3. BKSDA.
4. BPN.

Satgas Bantuan terdiri atas;

1. Logistik.
2. Dinas Kesehatan.
3. Dinas PU.
4. Perusahaan



Gambar 4. 97. Struktur Organisasi Siaga Darurat Tingkat Provinsi Riau, 2014

Adapun struktur organisasi siaga darurat tingkat kabupaten/kota masih relative sama dengan tim di tingkat provinsi yang terbagi atas 3 tim utama yaitu; tim asistensi, tim analisa dan tim satgas bantuan.



Gambar 4. 98. Sistem Koordinasi Siaga Darurat Tingkat Provinsi Riau, 2014

Kegiatan koordinasi dilakukan secara reguler berdasarkan koordinasi dan briefing harian, mingguan dan bulanan dengan pembagian tugas sebagai berikut;

- ∅ BMKG pemaparan visibility, sebaran hujan, arah angin, prakiraan cuaca, sebaran hotspot
- ∅ BPPT TMC pemaparan rencana penyemaian hujan buatan
- ∅ TNI AD/Kementerian Kehutanan pemaparan rencana/upaya pemadaman darat, lokasi firespot
- ∅ TNI AU pemaparan rencana pemadaman melalui udara
- ∅ BPBD menginformasikan sebaran hotspot
- ∅ BLH pemaparan kualitas udara
- ∅ Polda pemaparan upaya penegakan hokum
- ∅ Dinas kesehatan pemaparan perawatan dan pelayanan kesehatan masyarakat.

Berikut ini digambarkan kegiatan water bombing untuk wilayah Rokan Hilir, Bengkalis dan sekitarnya tahun 2014.



Gambar 4. 99. kegiatan water bombing untuk wilayah Rokan Hilir, Bengkalis dan sekitarnya tahun 2014.

Pada tanggal 2 Juli 2014, dilakukan 24 x water bombing untuk wilayah yang ada di dalam gambar di atas untuk mengurangi titik api yang terjadi. Adapun jumlah satuan tugas yang berada di darat yang dikerahkan pada tahun 2014 adalah

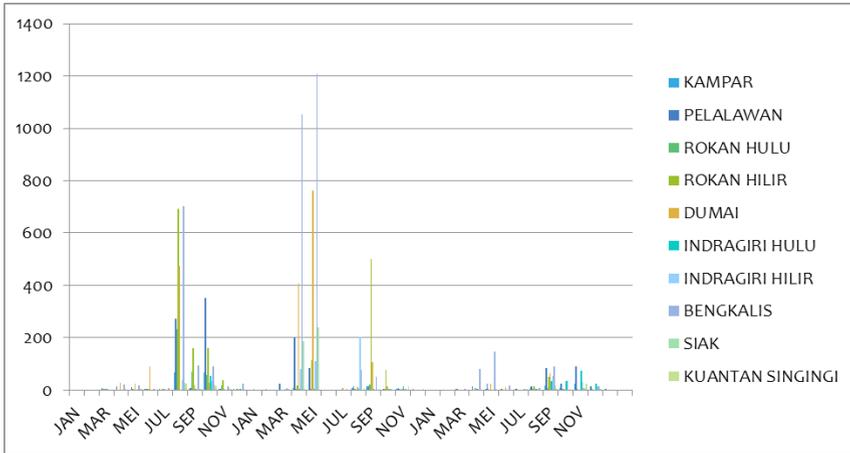
- 1096 personil TNI,
- Manggala Agni 125 orang,
- TRC BPBD Riau 100 orang,
- TRC BPBD & DAMKAR Kab/Kota 280 orang
- Satpol PP Provinsi 100 orang,
- Resimen Mahasiswa 50 orang,
- Satgas Penegakan Hukum (meliputi aparat kepolisian di kabupaten dan kota di Provinsi Riau, penyidik, jaksa, bareskrim dan sebagainya).

Satuan tugas ini berfungsi untuk melakukan patroli di setiap kab/kota terkait dengan karhutla serta melakukan sosialisasi tentang karhutla dan melakukan pemadaman titik api.

Adapun untuk Satgas Penegakan Hukum (gakkum) terdiri atas kepolisian, Penyidik Pegawai Negeri Sipil LH, Kejaksaan, dan Satuan Taman Nasional Tesso Nello. Tim Bareskrim pusat dalam proses membantu percepatan penegakan hukum, Melakukan pencegahan dengan cara; (i) sosialisasi Maklumat Kapolda Larangan Bakar hutan dan lahan kepada masyarakat, serta penyebaran brosur 350.000 lembar dan banner 2.500 lembar, (ii) Broadcast SMS berisi Larangan Bakar

Hutan/Lahan dan kurangi aktifitas di luar ruangan. Bekerjasama dengan operator Exelcommindo (XL, Axis), Telkomsel (Simpati, As dan Halo), Indosat (Mentari, IM3 dan Matrix). Tim Pemburu Satgas Karhutla melaksanakan lidik tindak pidana karlahut dan Illegal logging

Seperti ditunjukkan gambar dibawah ini, maka dengan upaya yang terus berlanjut 2014-2015 maka jumlah titik api di Provinsi Riau cenderung turun setiap tahunnya.



Gambar 4. 100. Identifikasi titik kebakaran 2013-2015 di Provinsi Riau.
 Sumber : Global Forest Watch, 2015, <http://firest.globalforestwatch.org>

B. Tinjauan Sosial Ekonomi dan Ketrlibatan Masyarakat Terutama Masyarakt Peduli Api (MPA)

Untuk melihat kondisi sosial masyarakat sekitar wilayah terjadinya kebakaran lahan, di lakukan survey ke masyarakat sekitar desa Tanjung Leban, Kabupaten Bengkalis, Popinsi Riau.

Tanjung Leban adalah desa yang terletak diperbatasan antara kota Dumai dan Bengkalis. Awal mulanya desa Tanjung Leban adalah bagian dari desa Sepahat. Desa Tanjung Leban merupakan desa yang paling bungsu di Kabupaten Bengkalis. Desa Tanjung Leban terdiri dari 3 dusun, yaitu dusun bukit sembilan, bukit lengkung, dan sugai raja.

Upaya-upaya yang telah dilakukan oleh warga desa Tanjung Leban dalam mengatasi kebakaran yang terjadi pada tahun 2013, yaitu

1. Membentuk MPA (Masyarakat Peduli Api)

MPA (Masyarakat Peduli Api) desa Tanjung Leban didirikan pada tahun 2009 berdasarkan keputusan bersama warga desa Tanjung Leban. MPA memiliki anggota berjumlah 20 orang. Dalam pelaksanaan tugasnya, MPA mendapatkan kucuran dana dari Pemerintah melalui ADD (Alokasi Dana Desa) yaitu sebesar 60 juta per tahun. Anggaran tersebut digunakan oleh MPA untuk biaya operasional disetiap terjadinya kebakaran.

2. Membuat bendungan

Pembuatan bendungan sudah dilakukan di beberapa titik lokasi untuk membasahi kembali lahan yang kering, sehingga mampu mengurangi potensi kebakaran.

3. Menanam tanaman Campuran dan Tahan Api

Penanaman tanaman campuran seperti tanaman nanas di lahan yang sudah terbakar merupakan salah satu upaya untuk mengurangi potensi terjadinya kebakaran. Selain itu, penanaman buah nanas ini juga bermanfaat untuk menambah penghasilan dari para petani.

Kendala-kendala yang dihadapi oleh warga Desa Tanjung Leban, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau dalam mengatasi terjadinya kebakaran adalah infrastruktur jalan yang relatif buruk, sehingga sangat sulit untuk menuju ke lokasi terjadinya kebakaran. Selain itu, pengeloalaan bendungan yang belum berjalan dengan baik terkadang bisa menenggelamkan kebun-kebun warga yang berada disekitar bendungan.

Dampak dari terjadinya kebakaran lahan terhadap kehidupan warga desa Tanjung Leban dapat diklasifikasikan kedalam tiga aspek, yaitu aspek ekonomi, aspek kesehatan, dan aspek sosial.

Dilihat dari aspek ekonomi, para warga mengalami kerugian yang berlipat saat terjadinya kebakaran lahan tersebut yang mencapai 2000 ha lebih. Kerugian yang berlipat ini terjadi karena rata-rata lahan masyarakat yang terbakar adalah lahan sawit dan karet yang sudah menghasilkan. Kondisi ini menjadi kian sulit karena keterbatasan dana dan semangat yang mengendur untuk menanam lagi dengan tanaman sawit atau karet. Hal ini terjadi karena masyarakat sangat khawatir jika kebakaran akan terjadi lagi saat tanaman yang ia tanam

sedang menghasilkan. Sehingga banyak masyarakat yang urung kembali menanam lahan pasca kebakaran dan lebih ingin untuk menjual tanah tersebut saja.

Dilihat dari aspek kesehatan, secara umum masyarakat desa Tanjung Leban mengalami gangguan pernafasan dan sakit mata yang diakibatkan adanya kabut asap yang sangat pekat sampai berhari-hari. Hal ini sangat terasa terutama bagi anak-anak dan balita yang ada didesa Tanjung Leban.

Dilihat dari aspek sosial, terjadinya kebakaran yang menelan lebih dari 2000 ha lebih itu menyebabkan beberapa ratus kk mengungsi ke daerah yang lebih aman. Disaat seperti ini MPA dan warga bahu-membahu untuk menyelamatkan rumah-rumah mereka agar tidak termakan oleh si jago merah. Selain itu juga terus mengevakuasi warga yang masih berada dirumah. Terjadinya kebakaran berulang-ulang kali tersebut tidak membuat warga ingin pindah dari desa Tanjung Leban. Namun, mereka ingin ada solusi yang tepat dari pemerintah dan perusahaan setempat untuk mengatasi kebakaran ini.

Harapan-harapan yang diinginkan oleh masyarakat desa Tanjung Leban dalam mencegah dan mengatasi kebakaran lahan adalah

1. Membuat jalan-jalan kebun yang memadai, agar suatu saat terjadi kebakaran MPA dan warga bisa lebih cepat bertindak ke titik lokasi awal kebakaran
2. Memberikan bantuan modal bagi warga yang lahannya terbakar, agar mereka mau memanfaatkan lahan tersebut pasca kebakaran
3. Membutuhkan pihak yang mampu mengelola manajemen pengendalian air. Maksudnya adalah agar disaat musim hujan wilayah ini tidak kebanjiran, dan disaat musim kemarau wilayah tersebut tidak kekeringan. Sehingga potensi terjadinya kebakaran lahan tidak terjadi lagi.

Cara kerja

Dalam menghimpun informasi tentang Kegiatan Masyarakat Peduli Api (MPA) Desa Tanjung Leban, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau dilakukan dengan wawan-

cara. Wawancara dilakukan dengan narasumber ketua MPA Bapak Hermansyah dan beberapa warga desa di sekitar.

Berikut adalah gambar kegiatan wawancara dengan MPA.



Gambar 4. 101. Wawancara dengan Narasumber Bapak Hermansyah

Dari hasil wawancara, maka didapatkan kegiatan yang dilakukan MPA sehari-hari adalah sebagai berikut :

- Kondisi cuaca dilaporkan ke pihak Kapolres 2 kali sehari setiap hari.
- Indikator papan informasi diubah setiap hari sesuai dengan pengamatan tim MPA.
- Ronda dilakukan oleh 2 orang setiap harinya dimulai dari pukul 07.00- 11.00 WIB dan pukul 14.00-17.00 WIB.
- Sosialisasi ke rumah-rumah dan rumah kebun tentang pentingnya tidak membakar lahan. Apabila terjadi kebakaran lahan yang disengaja oleh pemilik rumah atau pelaku lainnya maka akan dikenakan sanksi berupa pelaku diharuskan untuk menanggung semua biaya pemadaman, makan dan minum masyarakat dan lainnya, sedangkan apabila menolak maka pelaku diserahkan ke kantor polisi.

Sistem Pembiayaan

MPA mendapatkan bantuan-bantuan dari berbagai pihak sebagai berikut:

- Bantuan dana dari Pusat Pengelolaan Ekoregion (PPE) Regional Sumatera.
- Bantuan dari Desa sejumlah 60 juta dalam tahun 2013, dan 2014.
- Kabupaten Bengkalis berupa honor Rp. 200.000 / bulan untuk 20

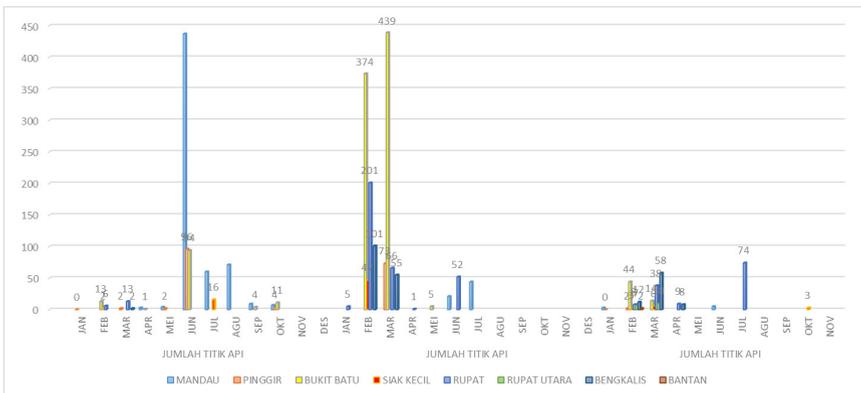
orang selama 8 bulan.

- PT. Arara Abadi berupa mesin + Bahan Bakar + konsumsi minuman.
- Masyarakat desa Tanjung Leban.

Kejadian-Kejadian yang Ditangani Selama Ini

Kejadian-kejadian terkait kebakaran lahan dan hutan yang telah ditangani selama ini di Desa Tanjung Leban adalah :

- Tahun 2014 Bulan Februari – Maret, terjadi kebakaran yang besar di Bukit Batu (324 titik dan 439 titik) yang mengakibatkan asap menyebar ke berbagai daerah (Pekanbaru, Dumai, dan sekitarnya) hingga ke luar negeri (Malaysia dan Singapura).
- Tahun 2014 Bulan September, kebakaran hutan di Desa Tanjung Leban, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau ditangkap sebanyak 9 pelaku pembakar lahan dan hutan. Para pelaku berasal dari Medan berjumlah 6 orang, sisanya penduduk setempat, dan yang diproses sebanyak 2 orang.
- Tahun 2015 kejadian kebakaran di Desa Tanjung Leban, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau turun drastis menjadi 5 kejadian saja.



Gambar 4. 102. Jumlah titik api di Kabupaten Bengkalis per Kecamatan, dalam periode 2013-2013.

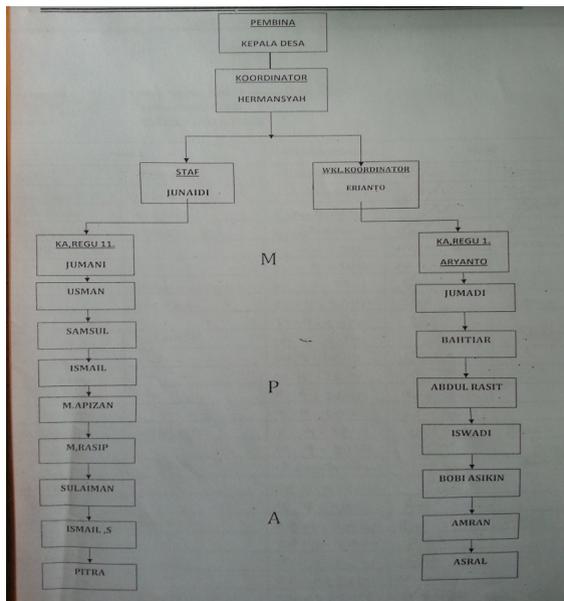
Terlihat dari gambar di atas, kejadian kebakaran di kecamatan Bukit Batu pada bulan Februari dan Maret 2014 mencapai 324 titik dan 439 titik. Namun pada tahun 2015 angka ini turun menjadi 44 dan 6 kejadian di bulan Februari dan Maret 2015.

Kondisi Eksisting Desa Tanjung Leban Mengantisipasi Risiko Kebakaran Lahan.

Desa Tanjung Leban merupakan desa yang memiliki lahan gambut yang luas. Daerah ini rawan akan kebakaran lahan diakibatkan oleh cuaca panas yang ekstrim maupun adanya pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab melakukan pembebasan lahan dengan cara membakar lahan tersebut. Dampak kebakaran lahan pasti mengakibatkan kerugian di segala aspek terutama di kesehatan masyarakat, ekonomi dan sosial masyarakat. Dalam upaya mencegah kebakaran tidak terjadi terus menerus maka masyarakat desa Tanjung Leban membentuk organisasi yang bernama Masyarakat Peduli Api (MPA) pada tahun 2009 yang bertugas untuk menjaga, mencegah, dan menangani hal-hal yang dapat menyebabkan kebakaran lahan di sekitar desa tersebut.

Struktur Organisasi

Struktur organisasi Masyarakat Peduli Api (MPA) Desa Tanjung Leban Kec. Bukit Batu, Kab. Bengkalis Tahun 2014 dibina oleh Kepala Desa Tanjung Leban dan dikoordinator oleh Hermansyah. Berikut adalah struktur organisasi MPA:



Gambar 4. 103. Struktur Organisasi MPA

Beberapa aspek sosial dan ekonomi yang menarik untuk dilihat. Kebakaran lahan gambut di Desa Tanjung Leban, Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau, terjadi secara massif pada lahan Perkebunan Rakyat dan rumah-rumah penduduk, Perusahaan Perkebunan Sawit dan Hutan Tanaman Industri (HTI). Desa Tanjung Leban sendiri merupakan Desa yang sangat luas yang terletak di wilayah pesisir dan dibelah oleh jalan lintas Dumai-Sei Pakning, kebakaran juga terjadi di lahan sisi jalan tersebut tanpa ada upaya yang signifikan mampu memadamkan api. Pusat kebakaran terjadi di Dusun Bukit Lengkung, yang harus ditempuh selama 2 jam dari pusat pemerintahan Desa, yang sebagian besar wilayahnya merupakan gambut dalam. Hampir seluruh masyarakat memiliki Perkebunan Sawit di lahan gambut. Kejadian kebakaran ini menyebabkan lahan perkebunan masyarakat terbakar habis dan hanya menyisakan lahan *tapak rumah* yang memang selalu dijaga oleh pemilik. Selama terjadi kebakaran lahan hebat, seluruh anak-anak dan wanita berada di pengungsian, hanya laki-laki yang bertugas menjaga rumah dan harta benda dalam kepulan asap yang sangat tebal.

Sebagian besar penduduk di Dusun Bukit Lengkung merupakan warga pendatang dari daerah Kisaran, Rantau Prapat, dan Medan Propinsi Sumatera Utara yang mulai berdatangan pada pada tahun 2000-an dan mencapai puncak pada tahun 2006, mayoritas dari mereka bersuku Jawa dan beragama Islam. Alasan utama migrasi ke Riau adalah untuk merubah nasib, karena dengan menjual *tapak rumah* di kampung asal, mereka akan mendapatkan lahan sampai dengan 2 *pancang* (4 Hektar). Sehingga secara bergelombang mereka berdatangan, hingga tahun 2014 sudah mencapai 100 KK. Namun, secara administrasi hanya 25 KK yang terdaftar sebagai penduduk Desa Tanjung Leban, selebihnya menjadi warga Pelintung Dumai dan masih banyak yang tidak mempunyai KTP resmi Penduduk Desa Tanjung Leban.

Dalam hal tata kelola lahan, belum terdapat rencana penataan kelola lahan bagi masyarakat dan sistem tata airnya. Masih banyak juga terdapat konflik kepemilikan lahan dalam bentuk tumpang tindih surat kepemilikan lahan. Sampai saat ini, menurut tokoh setempat, bukti kepemilikan lahan masih berupa surat keterangan (SKT) kepala desa ataupun SKGR Desa. Pada saat membuka lahan, warga

setempat membuka dengan cara menebang dan membersihkan lahan dengan cara manual. Pada umumnya masyarakat mengaku tidak melakukan kegiatan membakar lahan untuk membuka lahan, karena mereka tahu dan hal tersebut terlarang. Namun Kepala Dusun Bukit Lengkung menjelaskan bahwa kebakaran lahan sudah menjadi rutinitas setiap tahun diwilayahnya, dan pada awal tahun 2014, adalah yang terparah yang menurut keterangannya sudah mencapai 2000 Ha lahan yang sudah terbakar.

Menurut tokoh Desa Tanjung Leban, persoalan kependudukan adalah faktor utama yang menjadi pemicu terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Alasannya, dengan masih adanya warga yang sebagian masuk Ke Desa Tanjung Leban Bengkalis dan Ke Kota Dumai, jika terjadi kebakaran, tidak ada warga yang bertanggung jawab dan saling menyalahkan. Selain itu keberadaan perusahaan yang membuka kanal-kanal menyebabkan kondisi lahan mengering secara dramatis, khususnya pada musim kemarau. Sehingga memudahkan kondisi kebakaran lahan gambut. Dengan demikian kedua persoalan tersebut merupakan faktor pendukung terjadinya kebakaran lahan gambut, tegasnya.

Aktifitas ekonomi masyarakat di Dusun Bukit Lengkung sangat tergantung pada lahan, dimana mereka mengharapkan pendapatan dari perkebunan sawit yang mereka miliki. Sebagian warga juga bekerja di perusahaan perkebunan yang beroperasi di sekitar dusun tersebut. Sebagian juga ada yang *moco-moco* atau bekerja pada lahan milik pengusaha perkebunan yang cukup luas. Dengan demikian, pendapatan masyarakat diperoleh dari kebun sawit yang mereka miliki dan bekerja di tempat lain. Dengan terbakarnya lahan sawit, baik pada lahan yang mereka miliki dan lahan tempat mereka bekerja, maka masyarakat kehilangan sumber pendapatan. Untuk sementara, masyarakat masih mampu bertahan hidup dari bantuan yang diberikan oleh Pemerintah Kabupaten Bengkalis. Akan tetapi, untuk kedepannya, masyarakat belum dapat menentukan strategi bertahan hidup yang akan mereka jalani. Pada umumnya masyarakat berharap adanya bantuan dari pihak terkait untuk pengadaan bibit sawit, sebagai satu-satunya tanaman yang ingin mereka budidayakan.

Kelembagaan di Dusun Bukit Lengkung secara formal, merupakan bagian tak terpisahkan dari Pemerintahan Desa Tanjung Leban.

Lokasi pusat desa yang sangat jauh, menyebabkan urusan administrasi menjadi sangat sulit, termasuk dalam urusan kelembagaan desa. Keterbatasan akses komunikasi dalam menggunakan telepon selular, juga menjadi factor penghambat arus informasi dari Dusun ke Desa dan sebaliknya. Dapat dikatakan Dusun Bukit Lengkung merupakan daerah yang cukup terisolir dari daerah lainnya yang ada di Desa Tanjung Leban. Lembaga informal yang ada, adalah wirid yasinan yang diadakan oleh bapak-bapak setiap malam jumat dan wirid pengajian ibu-ibu pada hari jumat sore, dan arisan ibu-ibu. Kelembagaan kelompok tani masih dalam proses pembentukan, dimana masyarakat berharap dengan adanya kelompok tani dapat memfasilitasi permintaan bantuan dalam kegiatan pertanian. Masyarakat Peduli Api (MPA) juga belum terbentuk di Dusun Bukit Lengkung, meskipun di kepala Desa Tanjung leban mengakui harus mengeluarkan dana kurang lebih enam puluh juta rupiah setahun untuk membiayai aktifitas MPA.

Dari gambaran tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa aspek sosial ekonomi masyarakat dalam hal tata kelola lahan yang belum baik, kegiatan ekonomi yang tergantung pada lahan yang tidak variatif, permasalahan kependudukan, dan kelembagaan masyarakat yang masih lemah merupakan persoalan-persoalan yang menyebabkan mudahnya terjadi kebakaran hutan dan lahan di lahan gambut, khususnya pada kasus kebakaran lahan gambut di Dusun Bukit Lengkung Desa Tanjung Leban Kecamatan Bukit Batu Bengkalis.

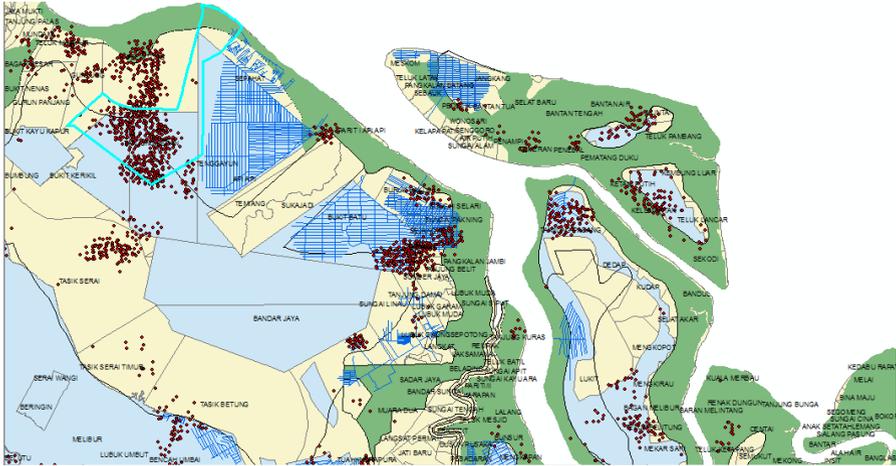
C. Tinjauan Teknis

Dalam rangka tanggap darurat untuk mengurangi risiko kebakaran lahan gambut dilakukan pengelolaan tata air di satuan hidrologis atau di DAS yang ditinjau. Maka dalam tulisan ini dititik beratkan 3 upaya penting yang perlu dilakukan segera, yaitu; (i) perencanaan dan disain untuk saluran dan bangunan air, (ii) pembangunan prasarana keairan secara bertahap, dan (iii) pemulihan lahan rawa bergambut

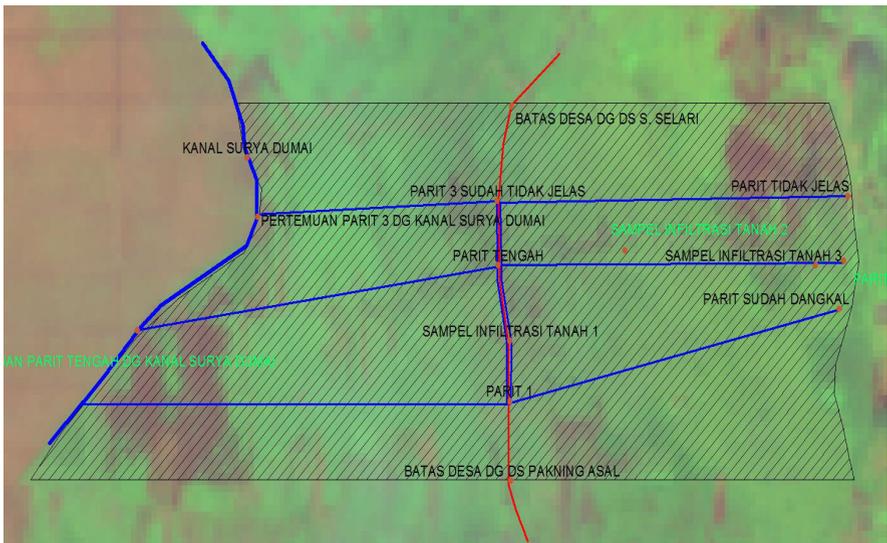
C1. Perencanaan dan disain

Perencanaan dan disain untuk saluran atau kanal serta bangunan air meliputi perimbangan kriteria kesimbangan air (*water balance*) yang senantiasa basah atau muka air tanah yang dekat permukaan tanah, penetapan satuan wilayah hidrologis yang sesuai dengan tata-

ruang peruntukannya, pembangunan serial penyimpanan air (*long storage*) untuk penampungan dan pengendalian air serta penyimpanan air sementara, pengaturan sekat kanal (baik statik maupun dinamik/bergerak), dan pembangunan tanggul-tanggul sepanjang saluran air.



Gambar 4. 104. Sistem Kanalisasi di area gambut di Kabupaten Bengkulu, 2015.



Gambar 4.105. Sistem Kanalisasi di perkebunan Desa Pakning, Kabupaten Bengkulu, 2013.

Kondisi kanal pada wilayah-wilayah yang di tinjau baik di Bukit Batu, maupun di Pakning sebagian tidak mempunyai sekat kanal, atau kalau pun ada maka sekat kanalnya sudah mulai rusak dan memerlukan perbaikan. Namun tinjauan secara umum dapat dikatakan kebutuhan sekat kanal masih tinggi di kabupaten ini.



Gambar 4. 106. Sekat kanal kayu dank anal tanpa sekat (Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau, 2014)

C2. Pembangunan Prasarana Keairan Secara Bertahap

Dalam tahap konstruksi ini maka perlu ditinjau beberapa hal, yaitu; strategi pembangunan diupayakan secara bertahap dimulai dari hulu ke hilir kanal, dibangun pada awal musim hujan, memanfaatkan bahan konstruksi lokal dan tenaga lokal, menggunakan teknologi yang relatif mudah untuk pemeliharannya oleh tenaga masyarakat lokal, dan tersedianya mekanisme penyediaan dana yang berkesinambungan baik dari dana pemerintah (APBD tingkat 1 dan 2, maupun APBN), serta kerjasama pemerintah, masyarakat dan pihak swasta, ataupun berasal dari swasta murni. Perlunya tenaga pendampingan dan pengarah yang ditempatkan di lokasi pembangunan untuk menjaga kesinambungan fungsi dan bangunan air yang ada (Darmanto, 2015).

C3. Pemulihan Lahan Bergambut Pasca Kebakaran

Pemulihan lahan gambut pasca kebakaran memerlukan waktu yang relative panjang, cara bertahap dan campur tangan manusia.

Dalam hal ini diusulkan program keterlibatan masyarakat sekitar area kebakaran yang tersetruktur, terarah dan terbina.

Program ini dapat melibatkan berbagai unsur masyarakat seperti; akademisi, pengusaha, komunitas, pemerintah, dan mesia masa (academician, business, community, government and media,

ABCGM). Adapun pembinaan masyarakat peduli api (MPA) dapat menjadi ujung tombak dalam melaksanakan program ini di lapangan. Sedangkan pemulihan kehidupan ekonomi masyarakat dan pemberdayaan masyarakat perlu keterlibatan pengusaha setempat agar masyarakat dapat mandiri dengan memanfaatkan potensi local yang berwawasan lingkungan misalnya penanaman nenas rawa, pemeliharaan ikan, dan kerajinan tikar. Peningkatan ekonomi masyarakat dapat mengurangi usikan dan tekanan terhadap ekosistem lahan gambut sehingga dapat mengurangi risiko kebakaran akibat ulah masyarakat lokal. Kelembagaan ekonomi masyarakat yang kuat baik berupa koperasi, bank perkreditan rakyat maupun usaha penyaluran pupuk dan penampungan hasil produksi local menjadi aspek strategis dalam meningkatkan perkonomian masyarakat setempat sehingga masyarakat dapat lebih termotivasi dalam upaya pemulihan lahan gambut ini agar tidak terbakar lagi.



BAB V PENUTUP

Kesimpulan

Kapasitas infiltrasi dari lahan tanaman kelapa sawit, karet dan HTI akasia diperoleh hasil pengukuran nilai rata-rata kapasitas infiltrasi yang berbeda, dimana pada lahan kelapa sawit lebih kecil dibandingkan kedua tutupan lahan lainnya, yaitu 0,30, 1,20 dan 1,22 cm/jam. Tingginya kapasitas infiltrasi pada lahan karet dan HTI, dipengaruhi oleh beberapa sifat fisik dan kadar bahan organik seperti tekstur tanah, bulk density, total ruang pori, struktur, dan bahan organik dimana pada lahan jagung, kelapa sawit dan kebun campuran memiliki karakteristik sifat fisik dan kadar bahan organik tanah yang tidak berbeda jauh atau memiliki selisih nilai/perbedaan yang sedikit.

Berdasarkan pengelompokan kedalam *Hydrologic Soil Group* yang kemudian akan dijadikan input dalam program SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), dilihat kriteria *Final constant infiltration* yang dikelompokkan menjadi tipe A, B, C, dan D dengan range nilai yang telah ditentukan maka diperoleh informasi bahwa :

- a. Kelapa Sawit Belum Menghasilkan dikelompokkan kedalam kelompok A dengan nilai konstan 15 mm/jam

- b. Kelapa Sawit Sudah Menghasilkan dikelompokkan kedalam kelompok C dengan nilai konstan 3 mm/jam
- c. Tutupan Lahan Karet dikelompokkan kedalam kelompok A dengan nilai konstan 12 mm/jam
- d. Tutupan Lahan HTI dikelompokkan kedalam kelompok A dengan nilai konstan 12,2 mm/jam

Berdasarkan hasil interpretasi Citra Landsat tahun 2003 menunjukkan luas kebun kelapa sawit menempati urutan pertama yang mendominasi tutupan lahan di DAS Siak, yaitu seluas 345.668,42 ha atau 30,93%. Lahan pertanian mempunyai luasan areal terluas kedua dengan luas 298.664,74 ha atau 26,73 %, selanjutnya luasan dominan ketiga yaitu tutupan hutan seluas 142.092,80 ha atau 12,72 % dan HTI seluas 129.714,75 ha atau 11,61 %. Luas perkebunan tanaman karet menempati urutan ke delapan dengan luas 14.019,16 ha atau 1,25 %.

Luasan hutan primer mengalami penurunan dari 15624,36 ha di tahun 2002 menjadi 7352,64 ha atau turun sebesar 4,86% pada tahun 2007 dan meningkat hingga 12186,32 ha pada tahun 2012 atau menurun sebesar 2,02% dari tahun 2002. Perubahan luas yang signifikan juga terjadi pada Hutan tanaman industri dari tahun 2002 sebesar 17053,04 ha dan meningkat menjadi 20117,64 ha atau naik sebesar 1,80 % pada tahun 2007 dan menurun sampai 12441,62 pada tahun 2012 atau menurun sebesar 2,71 % dari tahun 2002.

Koefisien regim sungai atau nagka nisbah dihitung dengan cara membandingkan nilai Q_{maks}/Q_{min} tiap periode atau disebut juga perhitungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} dengan model SWAT diperoleh :

1. Pada tahun 2002 nilai Q_{maks} 162.800, nilai Q_{min} 15.180, sedangkan nilai nisbah 10.725
2. Pada tahun 2007 nilai Q_{maks} 181.500, nilai Q_{min} 26.560, sedangkan nilai nisbah 6.834
3. Pada tahun 2007 nilai Q_{maks} 172.900, nilai Q_{min} 13.350, sedangkan nilai nisbah 12.951

Pada tahun 2007 terjadi penurunan koefisien regim sungai atau nilai nisbah dari 10.725 menjadi 6.834 yang disebabkan perubahan tata guna lahan yaitu penurunan luasan kelapa sawit, pemukiman serta semak belukar dan meningkatnya luasan tanah terbuka sehingga menurunkan jumlah *runoff* yang terjadi.

Pada periode penelitian tahun 2002 sampai dengan 2012 nilai nisbah cenderung mengalami peningkatan yaitu dari 10.725 menjadi 12.951, hal ini disebabkan penggunaan tata guna lahan pada tahun 2002 dan 2012 mengalami beberapa perubahan seperti menurunnya luasan hutan dan meningkatnya luasan kelapa sawit, pemukiman serta semak belukar yang dapat meningkatkan jumlah *runoff* yang terjadi sehingga semakin meningkatnya nilai nisbah antara tahun 2002 dan 2012.

Berdasarkan Uji kehandalan model hidrologi dengan data terukur di lapangan yaitu stasiun AWLR Pantai cermin dihasilkan koefisien determinasi $R^2 = 0.51$ dan $NS = 0.48$, sedangkan pada tahun 2012 memberikan nilai $R^2 = 0.59$ dan $NS = 0.58$. Sedangkan berdasarkan validasi dengan menggunakan data tahun 2006 diperoleh nilai $R^2 = 0.55$ dan $NS = 0.48$. Hasil kalibrasi dan validasi menunjukkan bahwa program SWAT dapat memodelkan perubahan tata guna lahan di Sub DAS Tapung dengan memuaskan dengan hasil $R^2 > 0.4-0,7$ dan $NS > 0.36-0,75$.

Diidentifikasi 5 parameter paling sensitif dalam memodelkan hidrologi berdasarkan SWAT yaitu pada bagian groundwater, hru, soil, routing dan management. Sedangkan hasil perhitungan nisbah Q_{maks}/Q_{min} pada tahun 2002, 2007 dan 2012 secara berturut-turut adalah 10,72, 6.83 dan 12.95. Hasil ini menunjukkan dari tahun 2002 hingga 2012 sub DAS Siak mengalami kecenderungan penurunan ketersediaan air

Berdasarkan hasil simulasi SWAT, maka direkomendasikan dalam rangka pengelolaan konservasi sumber daya air tanah diperkebunan kelapa sawit yang berorientasi pada konservasi air tanah adalah sebagai berikut:

- Luas area tata guna lahan perkebunan sawit yang pada mulanya adalah 49.83%, direkomendasikan untuk dikelola sedemikian sehingga prosentasenya menjadi 40% sebagai proyeksi untuk tahun 2020,
- Kawasan lahan sekitar 10 % tata guna lahan sawit (monokultur) direkomendasikan untuk dialihkan menjadi tanaman campuran.

Berdasarkan hasil simulasi dari berbagai skenario pengelolaan penggunaan lahan yang ada yang berkaitan dengan perkebunan kelapa sawit, maka direkomendasikan beberapa hal berikut ini.

1. Penyusunan Kebijakan tentang pembatasan pengembangan kebun kelapa Sawit yang dituangkan dalam bentuk regulasi.
2. Penegakan hukum dalam implementasi regulasi pemanfaatan untuk lahan perkebunan kelapa sawit
3. Menyelenggarakan beberapa usaha teknis konservasi air tanah melalui :
 - Mengubah areal lahan sawit (monokultur) dialihkan menjadi tanaman campuran atau komoditi perkebunan selain Kelapa Sawit
 - Mengkombinasi tanaman kelapa sawit dengan jenis tanaman kayu berakar tunggang seperti gaharu, shorea, dll.
4. Membangun area tadah hujan dan parit irigasi
Kegiatan konservasi berorientasi pada memanfaatkan air hujan seoptimal mungkin agar tidak langsung hilang oleh aliran permukaan (run-off), tapi dapat di bendung terlebih dahulu untuk dimanfaatkan oleh perakaran kelapa sawit.

Identifikasi tingkat kerawanan banjir dan jumlah titik-titik banjir wilayah Kota Pekanbaru dibagi untuk 12 lokasi kecamatan, dengan kecamatan yang mempunyai tingkat kerawanan banjir tertinggi adalah kecamatan Senapelan dengan 3 lokasi rawan banjir, dan kecamatan Lima Puluh dengan 4 lokasi rawan banjir.

Untuk mitigasi kebakaran lahan gambut diperlukan upaya-upaya yang dituangkan dalam kerangka kerja mitigasi kebakaran lahan yang dibagi atas 3 langkah utama; (i) memahami lebih dalam tentang apa itu kebakaran gambut, (ii) penilaian cepat (*rapid assessment*), (iii) mengembangkan *early warning*, dan (iv) tanggap darurat (*quick responds*).

- (i) Memahami lebih dalam tentang apa itu kebakaran gambut berdasarkan tipe kebakaran, yang terdiri atas; (a) karakteristik gambut yang memiliki sifat unik misalnya; memakan tanah gambut kering sampai kedalaman tertentu, terbakar secara perlahan, dan sebagainya, (b) tipe kebakaran terdiri dari kebakaran lahan, kebakaran permukaan tanah, dan kebakaran pucuk pohon, (c) proses yang menyebabkan kebakaran tanah gambut baik yang disebabkan ulah manusia maupun kondisi alam.
- (ii) Penilaian cepat (*rapid assessment*), adalah melakukan diagnostik atas kajian cepat tentang kejadian kebakaran berdasarkan mag-

nitude frekuensi kejadian dan lokasi terjadinya kebakaran, kajian kondisi lahan dari aspek tata air sebagai akar masalah kebakaran dan mengidentifikasi dalam upaya peringatan dini dan aksi cepat penanganan kebakaran (Darmanto, 2015).

- (iii) Mengembangkan early warning, yaitu langkah untuk mengantisipasi risiko bahaya kebakaran lahan pada periode pra-kebakaran dan/atau saat awal kejadian kebakaran. Pengembangan dapat dilakukan dengan memantau langsung di lapangan dengan pengamatan data hujan, temperature, kelembaban udara, kecepatan angin, arah angin, temperature dalam tanah, dan kelembaban udara dalam tanah.
- (iv) Tanggap darurat (*quick responds*), merupakan serangkaian tindakan kongkrit yang cepat dalam pembenahan akar masalah kebakaran lahan gambut baik berupa tindakan teknis berupa pendekatan social, ekonomi, pembenahan tataguna lahan, tataguna air dan pendekatan kelembagaan serta koordinasi dari berbagai pihak (*stakeholders*). Pada tulisan ini hanya menitikberatkan pada 3 aspek penting yaitu; (i) aspek hukum dan koordinasi, (ii) keterlibatan masyarakat melalui tinjauan masalah sosial ekonomi, dan (iii) tinjauan aspek teknis.

Rekomendasi

Direkomendasikan beberapa hal berikut ini.

1. Penyusunan Kebijakan tentang pembatasan pengembangan kebun mono kultur terutama perkebunan kelapa Sawit yang dituangkan dalam bentuk regulasi menjadi tanaman campuran atau komoditi perkebunan selain Kelapa Sawit Sehingga koefisien infiltrasi lahan menjadi lebih besar dan *water run off* menjadi berkurang. Akibatnya memperbaiki kondisi DAS Siak. Upaya tanaman campuran dan dapat dilakukan dengan mengkombinasi tanaman kelapa sawit dengan jenis tanaman kayu berakar tunggang seperti gaharu, shorea, dll.
2. Membangun area tadah hujan dan parit irigasi. Kegiatan konservasi berorientasi pada memanfaatkan air hujan seoptimal mungkin agar tidak langsung hilang oleh aliran permukaan (*run-off*), tapi dapat di bendung terlebih dahulu untuk dimanfaatkan oleh perakaran kelapa sawit.

3. Penanganan banjir perkotaan dimitigasi melalui sistem drainase mengacu pada SIDLACOM atau kegiatan Survey lapangan, Investigation (investigasi) aspek teknis, sosial, ekonomi, lingkungan dan kelembagaan, tahap Design (perencanaan) teknis seperti disain bangunan air, dan non-teknis misalnya berupa kegiatan peningkatan SDM dan kelembagaan, Land Acquisition (pembebasan lahan) di sekitar DAS, Construction (konstruksi) bangunan air, Operation (operasi) kegiatan bangunan air dan Maintenance (pemeliharaan) nya.
4. Keterlibatan pemerintah dan pihak yang terkait dalam penanganan kebakaran lahan gambut seperti Tim Asistensi (BPKP Perwakilan Provinsi BPN, Dinas Kehutanan, Dinas Perkebunan, Dinas Kesehatan), Tim Analis (KOMINDA, BMKG, BKSDA, BPN), Satgas Bantuan (Logistik, Dinas Kesehatan, Dinas PU, Perusahaan) menjadi penting. Terbukti dengan koordinasi dan kerjasama yang erat dari pihak-pihak di atas, maka peristiwa kebakaran hutan dan lahan di provinsi Riau dapat diturunkan di tahun 2015.
5. Keterlibatan masyarakat seperti Masyarakat Peduli Api (MPA) di tingkat desa, dan Keterlibatan Perusahaan kayu (pulpwood) yang berkontribusi terhadap 32% kebakaran lahan di provinsi Riau dan perusahaan kelapa sawit (18%) serta perusahaan HTI lainnya menjadi sangat penting karena secara total, jumlah area kebakaran lahan di provinsi ini (>50%) terjadi di lahan perusahaan perusahaan ini.
6. Dalam rangka mengurangi risiko kebakaran lahan gambut secara teknis dilakukan pengelolaan tata air di satuan hidrologis yang perlu dilakukan segera, yaitu; (i) perencanaan dan disain untuk saluran dan bangunan air, (ii) pembangunan prasarana keairan secara bertahap, dan (iii) pemulihan lahan rawa bergambut
7. Dengan melakukan hal-hal yang direkomendasikan di atas, maka diharapkan kejadian bencana kebakaran di lahan gambut dapat dikurangi secara bertahap. Hal ini telah dibuktikan di provinsi Riau dengan hasil yang relatif memuaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. dan I.G. M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- Agus Kristijono, 2014, Adopsi dan Adaptasi Teknologi FDRS (Fire Danger Rating System, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Inventarisasi Sumberdaya Alam (P3TISDA), Deputi Bidang Teknologi Pengembangan Sumberdaya Alam, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- Ancol, Wahyu. 2011. Pengertian Sungai, Struktur Aliran, Banjir. Diakses pada <<http://wahyuancol.wordpress.com/2011/01/21/sungai-1>>
- Anonim. (2007). Karakteristik DAS Tuntang dan Jragung. *BPDAS Pemali Jratun, Semarang*.
- Ari Sandhyavitri, 2013, Studi Kelayakan Sistem Penyediaan Air Minum Regional II Provinsi Riau, PU. Cipta Karya, Provinsi Riau.
- Ari Sandhyavitri, and Ahmad Helmy, 2010, "Investigasi Tingkat Kerawanan Lereng Untuk Penyusunan Strategi Penanganan Jalan dan Lereng (Studi Jalan Lintas Tengah Sumatera)", Konferensi Regional Teknik Jalan ke 11 Wilayah Timur, Juni 2010 di Grand Hyatt Resort, Bali.
- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Penerbit IPB Press. Bogor
- Asdak C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. GadjahMada University Press.Yogyakarta.
- Azwar Maas, 2014, Gambut: Karakteristik, Potensi Pemanfaatan dan Risikonya, Seminar Nasional Solusi Kebakaran Tuntas, Pekanbaru, 29-30 April 2014.
- B.D. Lawson and O.B. Armitage, 2008, Weather Guide Canadian Forest Fire Danger Rating System, Canadian Forest Service Northern Forestry Centre, Ember Research Services Ltd., 4345 Northridge Cres., Victoria, British Columbia V8Z 4Z4.
- Barchia MF. 2006. *Gambut. Agroekosistem dan transformasi karbon*. Gadjah Mada University Press.
- Brady, M.A. 1997. Effect of Vegetation Changes on Organic Matter Dynamics in Three Coastal Peat Deposits in Sumatra, Indonesia. In: J. O. Rieley & S. E. Page, Biodiversity and Sustainability of

Tropical Peatlands. Proceeding of The International Symposium on Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands. Palangkaraya, Indonesia, 4-8 September 1995. Samara Publishing Limited, Cardigan, UK, 113-134

Buchholz G. and D. Weidemann. 2000. *The Use of Simple Fire Danger Rating Systems as a Tool for Early Warning in Forestry*. International Forest Fire News No. 23, 32-36.

Chow, et. al. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hills. New York.

Chang, Jen-Hu. 1974. *Climate and Agriculture; an ecological survey*. Chicago:

Aldine.

Danoedoro, Projo. 1996. *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta : Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada.

Driessen, P.M. 1978. Peat soils. Dalam: *Soils and Rice*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, h. 763-779

Freeze R. Allan, John A. Cherry (1979), *Groundwater*, Englewood Cliffs, New Jersey.

Gunawan H, Kobayashi S, Mizuno K, dan Kono Y. 2012. *Peat swamp forest types and their regeneration in Siak Kecil-Bukit Batu Biosphere Reserve, Riau, East Sumatra, Indonesia*. *Mires and Peat* 10:1-17

Gunawan. H. 2012. *Penguatan Program Restorasi Lahan Gambut Melalui Partisipasi Masyarakat Desa Tanjung Leban, Kec. Bukit Batu, Kab. Bengkalis, Riau*. KMLHG: Tanjung Leban.

Hairiah, K. 2007. *Perubahan Iklim Global : Pemicu Terjadinya Peningkatan GRK Draft Modul 3*. Universitas Brawijaya. Malang

Halim, A. 1987. Pengaruh Pencampuran Tanah Mineral dan Basa dengan Tanah Gambut Pedalaman Kalimantan Tengah dalam Budidaya Tanaman Kedelai. Disertasi Fakultas Pascasarjana, IPB. Bogor. 322 hlm.

Hanafiah KA. 2004. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Hardjowigeno S. 1987. *Ilmu Tanah*. Mediatama. Sarana Perkasa. Jakarta.

Hardjowigeno, S. 1989. *Sifat-sifat dan potensi tanah gambut*

- Sumatera untuk pengembangan pertanian. Dalam: Hakim , N.M.Y. Nyakpa, A.M. Lubis, S.E. Nugroho, M.A.Diha, Go, Ban Hong, H.H. Bailey (Eds). Prosiding. Seminar Tanah Gambut untuk Perluasan Pertanian. Fak. Pertanian UISU. Medan*
- Harri Darmawan, Johnny MTS, , Hari Wibowo, 2009, Perubahan Muka Air Pada Tanah Gambut Akibat Penanaman Kelapa Sawit Di Desa Mega Timur Kecamatan Sungai Ambawang, Jurnal Teknik Sipil Untan / Volume 8 Nomor 2 – Desember 2008.
- Hartatik, W., K. Idris, S. Sabiham, S. Djuniwati, dan J.S. Adiningsih. 2004. Pengaruh pemberian fosfat alam dan SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap serapan P dan efisiensi pemupukan P. dalam Prosiding Kongres Nasional III HITI. Universitas Andalas. Padang.
- Harto Sri. 1993. Analisis Hidrologi. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Isabella Maharani, dkk, 2009, Pengaruh Konversi Hutan Alam Menjadi Perkebunan Sawit, presentasi.
- Iwank. 2009. Air tanah. Diakses pada <<http://iwankgeografi03.blogspot.com/2009/020air-tanah.html>>
- Kartasapoetra AG dan Sutedjo MM. 1988. Pengantar Ilmu Tanah Terbentuknya Tanah dan Tanah Pertanian. Rineka Cipta. Jakarta.
- Keetch, J. J. and G. M. Byram. 1988. *A Drought Index for forest Control*. USDA Forest Service Research Paper SE 38. USDA Forest Service South Eastern Forest Experiment Station. Asheville, North Carolina.
- Laporan Kajian Dampak Monokultur terhadap Daerah Aliran Sungai (DAS), 2007. Balitbang Provinsi Riau.
- Lee R. 1990. Hidrologi Hutan. GadjahMada University Press. Yogyakarta.
- LinsleyRayK., JosephB. Franzini, (1985), Teknik Sumber Daya Air, Eralanga, Jakarta.
- Mark Cochrane, 2015, Above- and Belowground Tropical Rainforest Fire Dynamics, Geographic Information Science Center of Excellence (GIScCE) South Dakota State University
- Mudiyarso, D.; Rosalina, U.; Hairiah, K.; Muslihat, L.; Suryadiputra, I.N.N.; Jaya, A, 2004, Petunjuk Lapangan: Pendugaan Cadangan Karbon Pada Lahan Gambut, proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia, Wetlands International – Indonesia

- Programme dan Wildlife Habitat Canada, Bogor, Indonesia.
- Munir, M.H., 2003. Tanah – Tanah Utama di Indonesia. Pustaka Jaya, Malang.
- Najiyati, S., L. Muslihat, dan I. N. N. Siryadiputra. 2005. Panduan Pengelolaan Lahan Gambut Untuk Pertanian berkelanjutan. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor, Indonesia. 241 hal.
- Noor, M. Pertanian Lahan Gambut Potensi dan Kendala. Kanisius. Yogyakarta. 174 hlmn.
- Page SE, Rieley JO dan Banks JC. 2011 Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* (17):798–818.
- Pasaribu, H., Mulyadi, A., Tarumun, S, 2012, Neraca Air Di Perkebunan Kelapa Sawit Di Ppks Sub Unit Kalianta Kabun Riau, Jurnal Ilmu Lingkungan, Universitas Riau.
- Polak, B.1975. Character and occurrence of Deposits in the Malaysia Tropic. Proceeding on Indonesia Modern Quaternary Research in SouthEast Asia. Rotterdam
- PP No 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana.
- Purwanto dan Ruijter. 2004. Hubungan antara Hutan dan Fungsi Daerah Aliran Sungai dalam Prosiding Lokakarya Dampak Hidrologis Hutan, Agroforestri, dan Pertanian Lahan Kering sebagai Dasar Pemberian Imbalan kepada Penghasil Jasa Lingkungan di Indonesia. Padang, Sumatera Barat.
- Radjagukguk, B. 1997. Peat soil of Indonesia: Location, classification, and problems for sustainability. pp. 45-54. In J.O. Rieley and S.E. Page (Eds.). Biodiversity and Sustainability of Tropical Peat and Peatland. Proceedings of the International Symposium on Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands, Palangkaraya, Central Kalimantan 4-8 September 1999. Samara Publishing Ltd. Cardigan. UK.
- Rina, Y., Noorinayuwati dan M. Noor, 2008. Persepsi Petani Tentang Lahan Gambut dan Pengelolaannya. Tersedia di: balittra.litbang.deptan.go.id/lokalKearifan-8%20Yanti.pdf [diunduh: 5 Desember 2009]

- Rudianda Sulaiman, 2010, Laporan Kajian Potensi Tegakan Hutan Kabupaten Pelalawan, Dinas Perkebunan Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau.
- Ruslan, M. 1983. Intersepsi Curah Hujan Pada Tegakan Tusam (*Pinus merkusii*), Sungkai (*Peronema cariescens*) dan Hutan Alam di DAS Riam Kanan, Kalimantan Selatan. Tesis. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sandhyavitri, A. (2010). Pemetaan Tingkat Kerawan Lereng (Studi Kasus : Ruas Jalan Lintas Tengah Sumatera, 830 Km) FSTPT XI Conference.
- Sandhyavitri, A. (2008). Analisa resiko pembangunan proyekkonstruksi di pedesaan (studi kasus: pembangunan infrastruktur air bersih dan transportasi). Seminar Nasional Teknik Kimia Oleo & Petrokimia Indonesia
- Seminar Pengelolaan Hutan dan Produksi Air untuk Kelangsungan Pembangunan. 23 September 1998, Jakarta.
- Setyawati, Nur anita. 2010. Das Sungai Siak Provinsi Riau. Diakses pada <https://staff.blog.ui.ac.id/.../das_siak_nuranitasetyawati_0706265705.pdf>.
- Seyhan, Ersin. 1977. Dasar-dasar Hidrologi. Editor Soenardi Prawirohatmojo. Yogyakarta: UGM Press.
- Siregar, H. H. 2003. Model Simulasi Produksi Kelapa Sawit Berdasarkan Karakteristik Kekeringan Kasus Kebun Kelapa Sawit di Lampung. Tesis. Institut Pertanian Bogor.
- Slamet S., L. 2008. *Skenario Emisi CO₂ di Indonesia Prosiding Seminar Nasional Pemanasan Global dan Perubahan Global – Fakta, Mitigasi, dan Adaptasi*. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN.
- Soewarno. 2000. Hidrologi Operasional. Citra AdityaBakti. Bandung.
- Suganda, H., E.P. Paningbatan, L.C. Guerra, and T.P. Tuong. 2001. Variability of Soil, Water Availability and Producting of Rainfed Rice in Relation to Toposuquence in Central Java, Indonesia. Master's Thesis. Univ of the Philippines, Los Banos. Laguna. Philipines.
- Soedarsono, & Takeda. (2003). *Hidrologi untuk pengairan* Jakarta.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi: Pengukuran dan Pengelolaan DAS (Hidrometri)*. Bandung.

- Sosial, B. P. D. A. S. d. P. (2013). Pedoman identifikasi karakteristik daerah aliran sungai.
- Sri Harto, Br (1993). Analisis Hidrologi. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Sri Harto, Br (1995). Analisis Hidrologi, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions American Geophysical Union. 38(913-920).
- Sudarmadji. (2007). *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Watershed Management)*.
- Sudarmanto, A., & Buchori, I. (2013). Analisis Kemampuan Infiltrasi Lahan Berdasarkan Kondisi Hidrometeorologis dan Karakteristik Fisik DAS Pada Sub DAS Kreo Jawa Tengah 175-182.
- Sulaeman R dan Manurung GME, 2009. Kajian Pengaruh Tegakan Terhadap Laju Aliran Permukaan di Kecamatan Langgam. Jurnal wahana Foresta Vol 3 No 2 Agustus 2010.
- Suratmo, F.G., E.A. Husaeni, N. Surati Jaya. 2003. Pengetahuan Dasar Pengendalian Kebakaran Hutan Pedoman Nasional Pengendalian Kebakaran Hutan. Fahutan IPB. 503 Hal (55 98). Bogor.
- Suripin, 2004 : *Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Tacconi, L. 2003. Kebakaran Hutan di Indonesia: Penyebab, Biaya dan Implikasi Kebijakan. CIFOR. pp vi + 28.
- Takeda, 1987. Hidrologi Untuk Pengairan. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Utomo, WH, Titiek I dan Widiyanto, 1998. Pengaruh Tanaman Terhadap Hasil Air. Makalah
- UU No 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana
- Wahyunto, S. Ritung, Suparto, and H. Subagjo. 2005. *Peatland distribution and its C*
- Wahyunto, S. Ritung, Suparto dan H. Subagjo. 2005. Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatera dan Kalimantan. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in sia. Bogor: Wetlands International-Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Wetlands International Indonesia Programme Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam. Canada Foundation

- dan Pusat Pengembangan Penataran Guru Ilmu Pengetahuan Alam. Bogor
- Wibisono, I.T.C., Siboro, L., & Suryadiputra, I.N.N. (2005). Panduan rehabilitasi dan teknik silvikultur di lahan gambut . Wetlands International. Canadian International Development Agency.
- Widianto, D. Suprayogo, H. Noveras, RH. Widodo, P. Purnomosidhi dan M. Van Noordwijk. 2008. Alih Guna Lahan menjadi Lahan Pertanian : Apakah fungsi hidrologis hutan dapat digantikan sistem kopi monokultur?. Diakses pada tanggal 20 Oktober 2008.
- Widodo (2011). Estimasi Nilai Lingkungan Perkebunan Kelapa Sawit Ditinjau Dari Neraca Air Tanaman Kelapa Sawit. Karya Ilmiah. Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wildlife Habitat Canada. Bogor, Indonesia.
- Windusari Y, Sari Nur AP., Yustian I, dan Zulkifli H. 2012. Dugaan Cadangan Karbon Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasah di Kawasan Suksesi Alami Pada Area Pengendapan Tailing Pt. Freeport Indonesia. *Biospecies* 5: 22-28
- WWF. 2008. Deforestation, forest degradation, biodiversity loss and CO2 emission in Riau, Sumatra, Indonesia: one Indonesian province's forest and peat soil carbon loss over a quarter century and its plans for the future. WWF Indonesia Technical Report. www.wwf.or.id. [Diakses pada 1 oktober 2009]
- Youssef, A., Maerz, N. H., and, Fritz, M. A., " A risk-consequence hazard rating system for Missouri highways". USA, 2003.
- Zenyferd Simangunsong, 2011, Konservasi Tanah Dan Air Pada Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) PT SARI Lembah Subur, Pelalawan, Riau, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas pertanian Institut Pertanian Bogor.

