

# PROSIDING RITEKTRA

MAKASSAR, 2 - 3 AGUSTUS 2018

<http://ritektra.uajm.ac.id>

ISBN 978-602-07094-7-6



Supported By:



**Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan VIII**

## **REKAYASA DAN INOVASI IPTEKS DALAM MEMBANGUN NEGARA MARITIM**

## STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN SULAWESI SELATAN

Jeremias Leda<sup>1</sup>, Simon Patabang<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar

Jalan Tanjung Alang No. 23, Makassar

Telp. (0411) 871038

E-mail: je.leda@uajm.ac.id, spatabang@gmail.com

### ABSTRAKS

Studi aliran daya dimaksudkan untuk mengetahui besar tegangan dan sudut fasa serta daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus pada suatu sistem tenaga listrik. Penelitian ini merupakan studi aliran daya pada jaringan kelistrikan Sulawesi Selatan sehubungan dengan operasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap berkapasitas 75 MW yang menyebabkan perubahan aliran daya. Perhitungan numerik menggunakan metoda Newton-Raphson dengan bantuan program MATLAB. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa perubahan tegangan terbesar terjadi pada bus Poso yakni sebesar 0,03 pu. Semua bus mengalami pergeseran sudut fasa dengan pergeseran terbesar juga pada bus Poso yakni 43,580 derajat. Line losses terbesar terjadi pada saluran transmisi yang menghubungkan Tallasa-Jeneponto sekitar 4,7 MW dengan total losses berkurang signifikan sebesar 2,282 MW. Hasil tersebut diperoleh dengan menentukan Poso sebagai slack/swing bus.

Kata Kunci: Aliran Daya, Newton-Raphson, Sulawesi Selatan

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

#### 1.1.1 Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan

Kebutuhan pengembangan sistem kelistrikan didorong oleh kebutuhan akan rencana operasi yang ekonomis dan rencana investasi yang efisien sehingga harus didasarkan pada perencanaan yang baik. Studi aliran daya merupakan dasar pengembangan suatu sistem tenaga listrik. Studi aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi dimasa yang akan datang. Studi aliran daya sangat penting dalam perencanaan pengembangan suatu sistem untuk masa yang akan datang, karena pengoperasian yang baik banyak tergantung pada diketahuinya efek interkoneksi dengan sistem tenaga yang lain, beban yang baru terpasang, stasiun pembangkit baru, serta saluran transmisi baru sebelum semuanya itu dipasang (Stevenson Jr, 1990:6).

Perkembangan terkini pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan tahun 2018 adalah beroperasinya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di wilayah pegunungan Pabbareessang Desa Mattirotasi Tasi, Kecamatan Watang Pulu, Kabupaten Sidrap. Interkoneksi PLTB Sidrap dengan kapasitas 75 MW sudah tentu memberi pengaruh pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan. Dalam dokumen RUPTL PLN 2016-2025:449, PLTB Sidrap telah direncanakan sebagai salah satu pembangkit listrik di Sulawesi Selatan. Oleh karena itu diperlukan studi aliran daya terkini yang dapat digunakan sebagai bahan perbandingan serta evaluasi sehubungan dengan beroperasinya PLTB Sidrap 75 MW pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan.

#### 1.1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada bagian latar belakang maka rumusan masalah penelitian adalah bagaimanakah perubahan tegangan, sudut fasa, daya aktif, daya reaktif pada berbagai bus serta rugi-rugi pada saluran transmisi pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan sehubungan dengan beroperasinya PLTB Sidrap 75 MW ?

#### 1.1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Menghitung besar tegangan, sudut fasa, daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus dalam sistem interkoneksi kelistrikan Sulawesi Selatan sehubungan dengan beroperasinya PLTB Sidrap 75 MW.
- Menghitung rugi-rugi daya pada saluran transmisi atau *line losses*.

## 1.2 Tinjauan Pustaka

Penyelesaian analisis aliran daya menggunakan metoda *Gauss-Seidel* memberikan hasil yang cepat dan akurat, I Putu S A, (2004), tetapi hanya cocok untuk sistem tenaga listrik dengan jumlah bus sedikit. Firdaus & Susanto, F., (2014), melakukan penelitian tentang studi aliran daya pada sistem Sulawesi Selatan dan Barat dengan menggunakan program ETAP (*Electrical Power System Analysis Program*). Sedangkan A. M. Shiddiq Yunus, et.al, 2014, membahas tentang *power flow of electrical interconnection system of Sulselrabar system*.

Untuk mendapatkan penyelesaian persamaan aliran daya suatu sistem tenaga listrik diasumsikan beroperasi dalam keadaan setimbang. Empat parameter diasosiasikan dengan setiap bus yaitu besar tegangan  $|V|$ , sudut fasa  $\delta$ , daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ . Bus diklasifikasikan menjadi: *slack/swing bus* dimana besar tegangan  $|V|$  dan sudut fasa  $\delta$  diketahui, *load bus* dimana daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$  diketahui serta *generator bus* dimana sudut fasa  $\delta$  dan daya aktif  $P$  diketahui. Terdapat beberapa metoda penyelesaian persamaan aliran daya namun pada penelitian ini digunakan metoda Newton-Raphson.

### 1.2.1 Solusi Aliran Daya Dengan Metoda Newton-Raphson

Pada sistem interkoneksi dengan  $n$  buah bus, apabila diketahui  $P_k$  dan  $Q_k$  maka tegangan pada setiap bus  $k$  dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_k = \frac{1}{V_{kk}} \left( \frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} - \sum_{n=1}^N Y_{kn} \cdot V_n \right) \quad (1)$$

di mana  $n \neq k$ . Pada suatu bus tertentu di mana diberikan besar tegangan dan bukannya daya reaktif, unsur nyata dan khayal tegangan didapat dengan cara menghitung nilai daya reaktif terlebih dahulu. Dari persamaan (1) dapat diperoleh persamaan berikut:

$$P_k - jQ_k = \left( Y_{kk} \cdot V_k + \sum_{n=1}^N Y_{kn} \cdot V_n \right) \times V_k^* \quad (2)$$

Apabila  $n = k$  maka:

$$P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (3)$$

$$Q_k = -\text{Im} \left\{ V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \right\} \quad (4)$$

Proses pemecahan persamaan aljabar linier semacam ini dikenal sebagai iterasi (Stevenson Jr, 1990:184-185). Penerapan metoda Newton-Raphson dapat digunakan bersama tegangan bus dan admitansi saluran transmisi yang berbentuk polar maupun rektangular. Jika berbentuk polar maka:

$$V_k = |V_k| \angle \delta_k \quad V_n = |V_n| \angle \delta_n \quad Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle \theta_{kn} \quad (5)$$

Sehingga diperoleh:

$$P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \angle (\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (6)$$

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (7)$$

$$Q_k = -\sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (8)$$

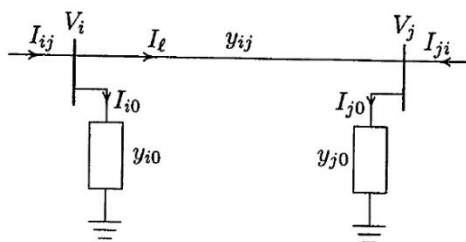
Nilai  $P_k$  dan  $Q_k$  telah diketahui tetapi nilai  $V_k$  dan  $\delta_k$  belum diketahui kecuali pada *slack/swing bus*. Persamaan non-linier (7) dan (8) dapat diuraikan menjadi suatu set persamaan linier simultan dengan cara menyatakan hubungan antara perubahan daya nyata  $\Delta P_k$  dan daya reaktif  $\Delta Q_k$  terhadap perubahan besar tegangan  $\Delta V_k$  dan perubahan sudut fasa  $\Delta \delta_k$  berikut ini.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_k \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_k \\ |V_k| \end{bmatrix} \quad (9)$$

Elemen-elemen matriks Jacobian dapat dihitung menggunakan persamaan (7) dan (8) pada setiap tahap iterasi dimulai dengan perkiraan nilai *initial* tegangan dan sudut fasa. Perubahan-perubahan dalam daya nyata  $\Delta P_k$  dan daya reaktif  $\Delta Q_k$  dihitung berapa selisih antara nilai yang ditetapkan dan hasil perhitungan dengan metoda invers kemudian proses iterasi berlanjut hingga memenuhi nilai toleransi yang ditetapkan.

### 1.2.2 Aliran Daya Dan Rugi-rugi Pada Saluran Transmisi

Setelah perhitungan solusi iteratif tegangan bus maka tahap berikutnya adalah perhitungan aliran daya dan *losses* pada saluran transmisi. Perhatikan saluran transmisi yang menghubungkan bus *i* dan bus *j* berikut ini.



Gambar 1. Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya

Arus saluran terukur pada bus *i* didefinisikan dengan polaritas positif pada arah  $i \rightarrow j$  dinyatakan sebagai

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (10)$$

Demikian pula arus terukur pada bus *j* didefinisikan dengan polaritas positif pada arah  $j \rightarrow i$  dinyatakan sebagai

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \quad (11)$$

Daya kompleks  $S_{ij}$  dari bus *i* ke bus *j* dan  $S_{ji}$  dari bus *j* ke bus *i* dirumuskan sebagai

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (12)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (13)$$

Sehingga dengan demikian rugi-rugi daya atau *losses* pada saluran transmisi dinyatakan sebagai jumlah aljabar (Hadi Saadat:212) dari persamaan (12) dan (13) yakni:

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (14)$$

## 1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan simulasi menggunakan program komputer. Terdapat beberapa program komputer yang dikembangkan dalam penyelesaian studi aliran daya. Penelitian ini menggunakan program MATLAB. Program penyelesaian aliran daya yang digunakan adalah *lfnewton* yang dijalankan bersama-sama dengan *lfybus*, *busout* dan *lineflow* (by Hadi Saadat:1998) dan telah melalui pengujian atau *testing* menggunakan IEEE 30 bus system dan 41 section transmission line dengan tahapan sebagai berikut:

- Data preparation* mencakup bus data dan line data yang diambil dari *single line diagram* sistem sulselrabar kondisi normal tahun 2015.
- Perhitungan aliran daya Newton-Raphson dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan *basemva*, *accuracy*, *acceleration factor* dan *maximum iteration* dengan skenario *full load operation*.
- Nilai awal setiap bus harus di input dalam bus data file.
- Setelah data lengkap dipersiapkan maka program dapat dijalankan.
- Hasil perhitungan ditampilkan di layar monitor komputer.

## 2. PEMBAHASAN

### 2.1 Representasi Data

Pemilihan format *bus data file* disesuaikan sedemikian sehingga dapat menampung informasi untuk seluruh bus yang diperlukan pada setiap kolom yakni besar tegangan  $|V|$ , sudut fasa  $\delta$ , daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$  termasuk *shunt capacitor*. Setiap bus harus diberi kode, yakni 1 digunakan untuk *slack/swing bus*, 2 digunakan untuk *generator bus* dan 0 digunakan untuk *load bus*. Demikian pula format *line data file* harus disesuaikan dengan kebutuhan untuk menampung parameter saluran transmisi yakni resistansi  $R$ , reaktansi  $X$  dan setengah *line charging susceptance*  $\frac{1}{2}B$  dalam per-unit sesuai MVA dasar serta data transformer tap setting. Bus data dan line data yang diolah oleh penulis dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 pada bagian *data sheet*.

### 2.2 Interpretasi Hasil Perhitungan

Penyelesaian aliran daya dalam penelitian ini dilakukan dengan memilih bus Poso sebagai *slack/swing bus* karena merupakan *generation bus* yang jaraknya paling jauh dari pusat beban yang berada di kota Makassar.

Hasil perhitungan berikut memperlihatkan kondisi tegangan dan sudut fasa berbagai bus pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan tanpa (*without*) dan dengan (*with*) interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW.

Solution by Newton-Raphson Method

---	Without PLTB Sidrap		With PLTB Sidrap		-----
Bus No.	Voltage Mag. (pu)	Angle Degree	Voltage Mag. (pu)	Angle Degree	Nominal Voltage kV
1	1.090	0.000	1.090	8.630	150
2	1.031	-0.240	1.032	6.230	150
3	0.993	-1.981	0.994	4.492	150
4	0.926	-5.183	0.927	1.294	150
5	1.010	1.854	1.010	6.870	150
6	1.020	2.740	1.022	5.993	150
7	1.030	3.128	1.030	6.402	150
8	1.030	-0.548	1.030	2.257	150
9	1.028	-5.409	1.028	-3.077	150
10	1.050	-5.674	1.050	-3.377	150
11	1.044	-5.478	1.044	-3.191	150
12	1.070	-5.164	1.070	-2.922	150
13	1.141	-5.661	1.141	-3.419	150
14	1.121	-6.134	1.121	-3.891	70
15	1.066	-5.326	1.066	-3.084	150
16	1.035	-5.173	1.035	-2.996	150
17	1.053	-4.233	1.054	-2.056	150
18	1.070	-0.569	1.070	1.563	150
19	1.030	7.325	1.030	9.267	150
20	1.025	4.901	1.025	6.697	150
21	1.010	3.168	1.010	4.792	150
22	1.002	3.416	1.002	4.943	150
23	1.010	5.564	1.010	6.949	150
24	1.030	7.525	1.030	8.855	150
25	1.011	5.266	1.016	6.485	150
26	0.976	20.775	1.002	1.539	150
27	1.010	27.415	1.010	0.465	150
28	1.030	43.580	1.000	0.000	275
29	1.006	3.122	1.012	4.530	150
30	1.067	-5.292	1.067	-3.049	30
31	1.010	-5.096	1.010	-2.821	70
32	1.013	-5.528	1.013	-3.230	70
33	1.012	-5.515	1.012	-3.229	70

Pada solusi tersebut, besar tegangan bus  $|V|$  bervariasi antara 0,096 – 1.141 per unit dengan perubahan terjadi pada bus nomor 2, 3, 4, 6, 17, 25, 26, 28 dan 29. Perubahan terbesar pada bus nomor 28 yakni pengurangan 0,03 per unit dimana relatif cukup kecil. Namun demikian semua bus mengalami pergeseran sudut fasa  $\delta$ . Pergeseran terbesar terjadi pada bus nomor 28 yakni sebesar 43,580 derajat. Sementara itu aliran daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$  antar bus juga berubah dengan total daya yang dibangkitkan generator sebagai berikut:

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW						
Slack/Swing	-----Load-----		---Generation---		Injected	
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
28 Poso		1054.000	790.500	1084.232	670.548	170.000
Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW						
Slack/Swing	-----Load-----		---Generation---		Injected	
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
28 Poso		1054.000	790.500	1081.950	663.079	170.000

Terdapat perubahan total daya  $P$  yang dibangkitkan oleh seluruh generator sebelum dan sesudah interkoneksi PLTB Sidrap yakni berkurang sebesar 2,282 MW serta juga daya  $Q$  berkurang sebesar 7,469 Mvar.

Demikian pula *line losses* terjadi perubahan. Secara total *line losses* berkurang sebesar 2,282 MW dengan *losses* terbesar pada *section* 18 – 19 sedangkan pengurangan *losses* paling banyak terjadi pada *section* 27 – 28.

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW						
Slack/Swing		-----Line	Losses-----	Losses Terbesar		Section
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Line
28 Poso		30.232	49.946	4.639	14.589	18-19
Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW						
Slack/Swing		-----Line	Losses-----	Losses Terbesar		Section
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Line
28 Poso		27.950	42.477	4.638	14.583	18-19

---

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW				
Slack/Swing		-----Line	Losses-----	Section
No Bus		MW	Mvar	Line
28 Poso		2.209	5.616	27-28
Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW				
Slack/Swing		-----Line	Losses-----	Section
No Bus		MW	Mvar	Line
28 Poso		0.029	-2.215	27-28

### 3. KESIMPULAN

#### 3.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil perhitungan aliran daya dan *line losses* adalah bahwa setelah interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW, terjadi perubahan aliran daya akibat perubahan pada besar tegangan  $|V|$ , sudut fasa  $\delta$ , daya aktif  $P$ , daya reaktif  $Q$  dan rugi-rugi saluran transmisi pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan yakni:

- Perubahan tegangan bus  $|V|$  terjadi pada bus nomor 2, 3, 4, 6, 17, 25, 26, 28 dan 29. Perubahan terbesar pada bus nomor 28 yakni terjadi pengurangan sebesar 0,03 pu.
- Semua bus mengalami pergeseran sudut fasa  $\delta$  dengan pergeseran terbesar pada bus nomor 28 sebesar 43,580 derajat.
- Line losses* terbesar terjadi pada *section* 18 - 19 yakni saluran transmisi Tallasa – Jenepono.
- Dengan bus Poso sebagai *slack/swing bus* maka total *line losses* berkurang secara signifikan.

#### 3.2 Saran

- Hasil penelitian ini dapat dipergunakan oleh pihak-pihak yang membutuhkan sebagai bahan evaluasi dan perbandingan.
- Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai gambaran dasar bagi studi-studi lainnya seperti analisis hubung singkat dan analisis stabilitas.

### PUSTAKA

- A.M. Shiddiq Yunus, et.al, 2014, *Power Flow of Electrical Interconnection System of Sulselrabar System 2014*, Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics MICEEI 2014, Universitas Hasanuddin Makassar, 26-30 November.
- Firdaus, Susanto, F., 2014, Studi Aliran Daya Pada Sistem Sulawesi Selatan Dan Barat Dengan Menggunakan Program ETAP 4.0, *NALAR*, Vol. 7, No.1, Hal. 736-744.
- Hadi Saadat, *Power System Analysis*, USA: McGraw Hill, 1999.
- I Putu Suka Arsa., 2004., *Penerapan Metode Gauss Seidel Untuk Meningkatkan Kualitas Perkuliahan Jaringan Distribusi Melalui Pembelajaran Berbasis Komputer (Matlab).*, Jurnal Pendidikan dan Pengajaran IKIP Negeri Singaraja.
- Stevenson, Jr. William D., 1990, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, 4th ed. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- RUPTL PLN 2016-2025, Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 5899 K / 20 / MEM / 2016 tentang Pengesahan Rencana Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2016 s.d. 2025, Jakarta: ESDM.



**DATA SHEET**

Tabel 1. Bus Data

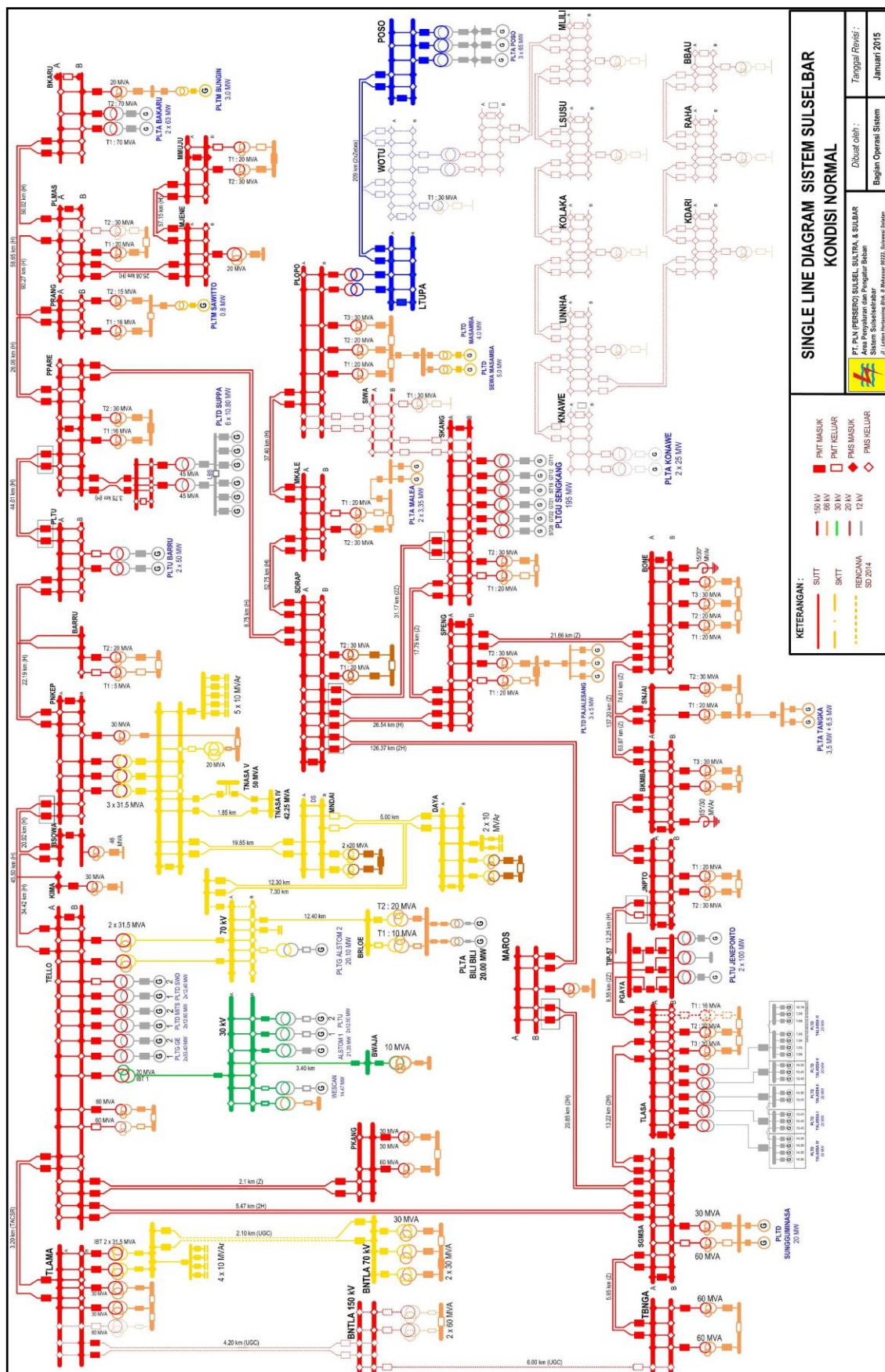
Bus			Load		Generation		Injected			Remark
No	Code	Name	MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar	
1	2	Bakaru	16	12	129					150 kV
2	0	Polmas	16	12						150 kV
3	0	Majene	16	12						150 kV
4	0	Mamuju	24	18						150 kV
5	2	Pinrang	24.8	18.6	0.8					150 kV
6	0	Parepare	36.8	27.6						150 kV
7	2	Suppa			64.8					150 kV
8	2	Barru	16	12	50					150 kV
9	0	Pangkep	99.6	74.7					50	150 kV
10	0	Bosowa	36.8	27.6						150 kV
11	0	Kima	24	18						150 kV
12	2	Tello	48	36	205.32					150 kV
13	0	Tallo Lama	48	36					40	150 kV
14	0	Bontoala	48	36						70 kV
15	0	Panakukang	48	36						150 kV
16	0	TanjungBunga	96	72						150 kV
17	0	Sungguminasa	72	54						150 kV
18	2	Talasa			115					150 kV
19	2	Jeneponto	40	30	200					150 kV
20	0	Bulukumba	24	18					30	150 kV
21	2	Sinjai	24	18	10					150 kV
22	0	Bone	56	42					30	150 kV
23	2	Soppeng	24	18	15					150 kV
24	2	Sengkang	24	18	195					150 kV
25	0	Sidrap	40	30	75					150 kV
26	0	Makale	24	18						150 kV
27	2	Palopo	24	18	9					150 kV
28	1	Poso			195					275 kV
29	0	Maros	24	18						150 kV
30	0	Barawaja	8	6						30 kV
31	2	Borongloe	24	18	20					70 kV
32	0	Mandai	32	24						70 kV
33	0	Daya	16	12					20	70 kV
Total			1,054.0	790.5	1,283.9	-	-	-	170	

Data diolah dari *Single Line Diagram* Kondisi Normal 2015  
PT. PLN (Persero) Sulselrabar

Tabel 2. Line Data

Bus From	Bus To	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)	Bus From	Bus To	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)
1	2	0.02627	0.09440	0.00743	9	12	0.01090	0.03919	0.00493
1	5	0.03076	0.11023	0.01012	9	32	0.01090	0.03919	0.00493
2	3	0.02630	0.09451	0.00744	16	17	0.00354	0.02128	0.00271
2	6	0.03663	0.13159	0.01819	17	18	0.00485	0.03324	0.00627
3	4	0.07342	0.26379	0.02076	17	29	0.02717	0.18617	0.03512
5	6	0.01388	0.04974	0.00670	18	19	0.03333	0.11974	0.00942
6	7	0.00393	0.01413	0.00111	19	20	0.02431	0.08733	0.00687
6	8	0.02314	0.08290	0.01116	20	21	0.07195	0.25851	0.02035
6	25	0.01002	0.03599	0.00283	20	22	0.07195	0.25851	0.02035
8	9	0.02419	0.08667	0.01167	21	22	0.04064	0.14603	0.01149
9	10	0.01090	0.03919	0.00493	22	23	0.02289	0.08153	0.00804
9	11	0.01090	0.03919	0.00493	23	24	0.01053	0.06335	0.00807
10	12	0.01683	0.06049	0.00761	23	25	0.02821	0.10138	0.00964
11	12	0.01090	0.03919	0.00493	24	25	0.01090	0.03919	0.00493
12	13	0.00363	0.01300	0.00175	25	29	0.01090	0.03919	0.00493
12	17	0.00192	0.01318	0.00249	25	26	0.03137	0.18876	0.02406
12	15	0.00236	0.00848	0.00067	26	27	0.01959	0.07038	0.00554
13	14	0.02023	0.03714	0.00011	27	28	0.04064	0.14603	0.01149
12	30	0.01090	0.03919	0.00493	31	32	0.01090	0.03919	0.00493
12	31	0.01090	0.03919	0.00493	31	33	0.01090	0.03919	0.00493
					32	33	0.01090	0.03919	0.00493

Data diolah dari *Line Impedance* dan *Single Line Diagram* Kondisi Normal 2015  
PT. PLN (Persero) Sulselrabar



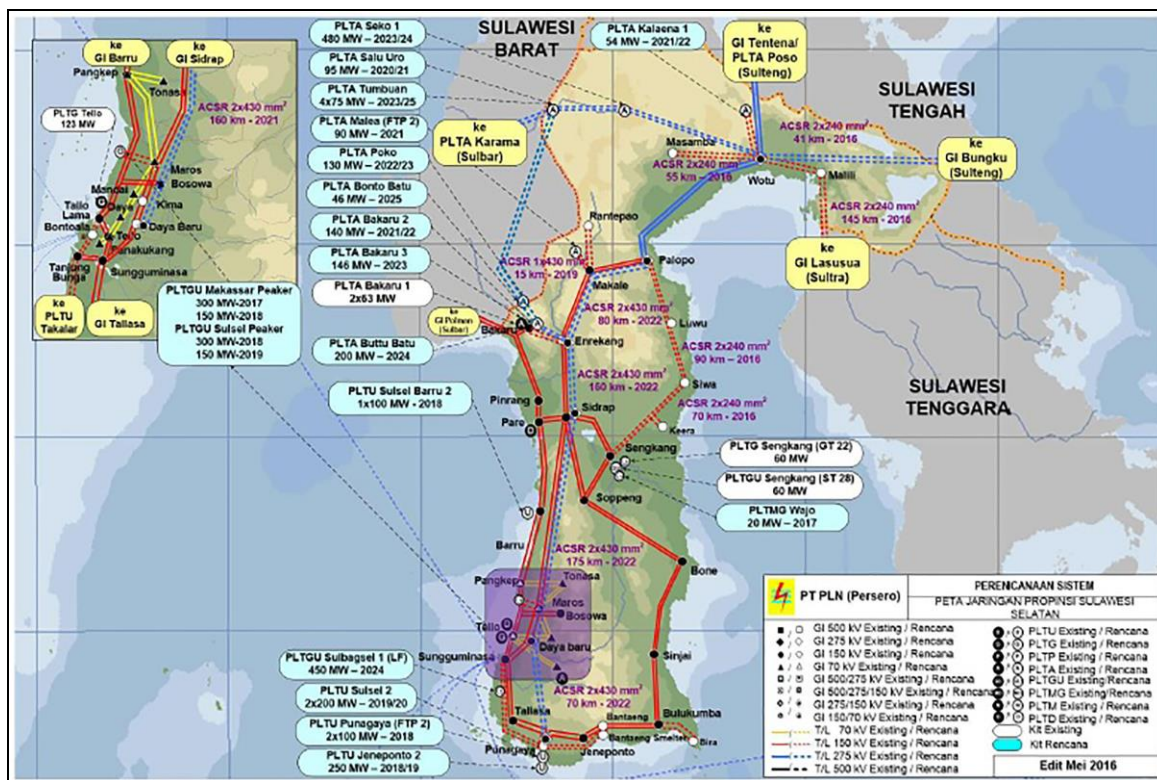
Gambar 2. Single Line Diagram Sistem Sulselrabar Kondisi Normal Tahun 2015



Tabel 3. Line Impedance Data

PT. PLN (PERSERO) WIL. SULSEL & SULTRA AP2B SISTEM SULAWESI SELATAN Jl. Letjen Herbening Makassar, 90222														
DATA IMPEDANSI PENGHANTAR REVISI : 19 DESEMBER 2005														
GI	LINE	KV	1L/2L	TIPE	km	TOTAL IMPEDANSI SALURAN ( pu )			IMPEDANSI PER-LINE ( pu )			TOTAL IMPEDANSI ( Ohm / Mho )		
						URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF		
						R	X	Y/2	R	X	Y/2	R	X	Y/2
BARRU	PNKEP	150	1L	240e	46.00	0.02419	0.08667	0.01167	0.02419	0.08667	0.011668	5.442	19.501	0.00005
BKARU	PRANG	150	1L	240d	58.50	0.03076	0.11023	0.01012	0.03076	0.11023	0.010118	6.521	24.802	0.00004
BKARU	PWALI	150	1L	240a	50.10	0.02627	0.09440	0.00743	0.02627	0.09440	0.007430	5.911	21.240	0.00003
BKRPH	BKARU	150	2L	240a	1.00	0.00052	0.00188	0.00015	0.00105	0.00377	0.000074	0.118	0.424	0.00000
BONE	BLKMB	150	1L	240a	137.20	0.07195	0.25851	0.02035	0.07195	0.25851	0.020347	16.188	58.165	0.00009
BONE	BLKMB	150	1L	240a	137.20	0.07195	0.25851	0.02035	0.07195	0.25851	0.020347	16.188	58.165	0.00009
BONE	SNJAI	150	1L	240a	77.50	0.04064	0.14603	0.01149	0.04064	0.14603	0.011493	9.144	32.856	0.00005
BSOWA	TELLO	150	1L	240c	32.10	0.01683	0.06049	0.00761	0.01683	0.06049	0.007611	3.796	13.609	0.00003
PNKEP	BSOWA	150	1L	240c	20.80	0.01090	0.03919	0.00493	0.01090	0.03919	0.004932	2.453	8.819	0.00002
PNKEP	TELLO	150	2L	240e	45.30	0.02382	0.08535	0.01149	0.04764	0.17071	0.005745	5.359	19.205	0.00005
PPARE	BARRU	150	1L	240e	44.00	0.02314	0.08290	0.01116	0.02314	0.08290	0.011161	5.205	18.654	0.00005
PPARE	PNKEP	150	2L	240e	90.00	0.04732	0.16958	0.02283	0.09464	0.33916	0.011414	10.647	38.155	0.00010
PPARE	PPUPA	150	2L	240a	7.50	0.00393	0.01413	0.00111	0.00787	0.02825	0.000556	0.885	3.180	0.00000
PRANG	PPARE	150	1L	240e	26.40	0.01388	0.04974	0.00670	0.01388	0.04974	0.006696	3.123	11.192	0.00003
PWALI	MJENE	150	2L	240a	50.16	0.02630	0.09451	0.00744	0.02631	0.18902	0.003719	5.918	21.265	0.00003
PWALI	PPARE	150	1L	240g	91.90	0.03663	0.13159	0.01819	0.03663	0.13159	0.018192	8.242	29.608	0.00008
SDRAP	PPARE	150	2L	240a	19.10	0.01002	0.03599	0.00283	0.02003	0.07198	0.001416	2.254	8.097	0.00001
SGMSA	TLLSA	150	2L	430b	27.50	0.00485	0.03324	0.00627	0.00970	0.06649	0.000136	1.091	7.480	0.00003
SKANG	SPENG	150	2L	430a	35.40	0.01053	0.06335	0.00807	0.02106	0.12670	0.004036	2.369	14.253	0.00004
SNJAI	BLKMB	150	1L	240a	59.70	0.03131	0.11249	0.00885	0.03131	0.11249	0.008854	7.044	25.310	0.00004
SPENG	BONE	150	2L	240f	43.27	0.02289	0.08153	0.00804	0.04578	0.16306	0.004018	5.150	18.344	0.00004
SPENG	SDARP	150	2L	240b	53.80	0.02821	0.10138	0.00964	0.05643	0.20275	0.004820	6.348	22.809	0.00004
TELLO	PKANG	150	2L	240a	4.50	0.00236	0.00848	0.00067	0.00472	0.01696	0.000334	0.531	1.908	0.00000
TELLO	SGMSA	150	2L	430b	10.90	0.00192	0.01318	0.00249	0.00385	0.02635	0.001243	0.433	2.965	0.00001
TELLO	TLLSA	150	2L	240e	6.90	0.00363	0.01300	0.00175	0.00726	0.02600	0.000875	0.816	2.925	0.00001
DAYA	TELLO	70	1L	120a	5.00	0.02408	0.04421	0.00013	0.02408	0.04421	0.000133	1.180	2.166	0.00000
MNDAI	MAROS	70	1L	120a	28.30	0.13631	0.28024	0.00075	0.13631	0.28024	0.000754	6.679	12.262	0.00002
MNDAI	DAYA	70	1L	120a	7.10	0.03420	0.06278	0.00019	0.03420	0.06278	0.000189	1.676	3.076	0.00000
MNDAI	TELLO	70	1L	120a	12.10	0.05828	0.10699	0.00032	0.05828	0.10699	0.000322	2.856	5.243	0.00001
PNKEP	MAROS	70	1L	120a	17.00	0.08188	0.15032	0.00045	0.08188	0.15032	0.000453	4.012	7.366	0.00001
PNKEP	MNDAI	70	2L	120a	37.70	0.18159	0.33305	0.00100	0.36318	0.66671	0.000502	8.898	16.334	0.00002
PNKEP	TNSA3	70	2L	120a	3.40	0.01638	0.03006	0.00009	0.03275	0.06013	0.000045	0.802	1.473	0.00000
TELLO	BRLOE	70	1L	120a	12.60	0.06069	0.11141	0.00034	0.06069	0.11141	0.000336	2.974	5.459	0.00001
TLLSA	BNTLA	70	2L	XLPE	4.20	0.02023	0.03714	0.00011	0.04046	0.07428	0.000055	0.991	1.820	0.00000
TELLO	BWAJA	30	1L	120b	3.70	0.12292	0.17508	0.00002	0.12292	0.17508	0.000020	1.106	1.576	0.00000
BIL2	BRLOE	20	2L	A3C	12.75	0.57795	0.51820	-	1.15590	1.03640	-	2.312	2.073	-

PT. PLN (PERSERO) WIL. SULSEL & SULTRA AP2B SISTEM SULAWESI SELATAN Jl. Letjen Herbening Makassar, 90222														
DATA IMPEDANSI PENGHANTAR REVISI : 19 DESEMBER 2005														
GI	LINE	KV	1L/2L	TIPE	km	TOTAL IMPEDANSI SALURAN ( pu )			IMPEDANSI PER-LINE ( pu )			TOTAL IMPEDANSI ( Ohm / Mho )		
						URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF		
						R	X	Y/2	R	X	Y/2	R	X	Y/2
BKARU	ERKNG	150	2L	240a	8.00	0.00420	0.01507	0.00119	0.00839	0.03015	0.000593	0.944	3.392	0.00001
BLKMB	JNPTO	150	2L	240a	46.35	0.02431	0.08733	0.00687	0.04861	0.17466	0.003437	5.469	19.649	0.00003
JNPTO	TIP57	150	2L	240a	34.49	0.01809	0.06498	0.00511	0.03617	0.12996	0.002567	4.069	14.621	0.00002
MALEA	MKALE	150	2L	430b	30.00	0.00529	0.03627	0.00684	0.01058	0.07253	0.003421	1.191	8.160	0.00003
MAROS	SGMSA	150	2L	430b	154.00	0.02717	0.18617	0.03512	0.05433	0.37234	0.017560	6.112	41.888	0.00016
MJENE	MMUJU	150	1L	240a	140.00	0.07342	0.26379	0.02076	0.07342	0.26379	0.020762	16.519	59.352	0.00009
MKALE	PLOPO	150	2L	240a	37.35	0.01959	0.07038	0.00554	0.03917	0.14076	0.002770	4.407	15.835	0.00002
PLOPO	WOTU	150	2L	430a	120.00	0.03569	0.21474	0.02737	0.07138	0.42948	0.013683	8.030	48.317	0.00012
PLTUJ	TIP57	150	2L	430b	10.00	0.00176	0.01209	0.00228	0.00353	0.02418	0.001140	0.397	2.720	0.00001
PLTUT	TLLSA	150	2L	240a	8.00	0.00420	0.01507	0.00119	0.00839	0.03015	0.000593	0.944	3.392	0.00001
SDRAP	MAROS	150	2L	430b	35.00	0.00617	0.04231	0.00798	0.01235	0.08462	0.003991	1.389	9.520	0.00004
SDRAP	MKALE	150	2L	430a	105.48	0.03137	0.18878	0.02406	0.06274	0.37753	0.012028	7.058	42.472	0.00011
SGMSA	TBNGA	150	2L	430a	11.89	0.00354	0.02128	0.00271	0.00707	0.04256	0.001356	0.796	4.788	0.00001
SIWA	PLOPO	150	2L	240a	95.00	0.04982	0.17900	0.01409	0.09964	0.35800	0.007044	11.209	40.275	0.00006
SKANG	SIWA	150	2L	240a	65.00	0.03409	0.12247	0.00964	0.06817	0.24495	0.004820	7.659	27.556	0.00004
TLLSA	JNPTO	150	2L	240a	63.55	0.03333	0.11974	0.00942	0.06665	0.23948	0.004712	7.498	26.942	0.00004
TLLSA	TIP57	150	2L	430b	29.06	0.00513	0.03514	0.00663	0.01025	0.07027	0.003314	1.154	7.906	0.00003
WOTU	MULI	150	2L	240a	50.00	0.02622	0.09421	0.00742	0.06244	0.18842	0.003708	5.900	21.197	0.00003
TBNGA	BNTLA	70	2L	240a	15.00	0.00787	0.02826	0.00222	0.01573	0.05653	0.001112	1.770	6.359	0.00001



Sumber: RUPTL PLN 2016-2025

Gambar 3. Peta Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW

Line Flow and Losses

--Line-- from to	Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer tap
	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	
1	113.000	114.506	160.875			
2	63.936	49.821	81.055	1.472	3.617	
5	49.064	64.685	81.188	1.747	4.026	
2	-16.000	-12.000	20.000			
1	-62.463	-46.204	77.695	1.472	3.617	
3	41.367	29.553	50.839	0.650	0.811	
6	5.096	4.651	6.900	0.024	-3.748	
3	-16.000	-12.000	20.000			
2	-40.717	-28.742	49.839	0.650	0.811	
4	24.717	16.742	29.853	0.717	-1.258	
4	-24.000	-18.000	30.000			
3	-24.000	-18.000	30.000	0.717	-1.258	
5	-24.000	-90.712	93.833			
1	-47.317	-60.658	76.931	1.747	4.026	
6	23.317	-30.053	38.038	0.191	-0.697	
6	-36.800	-27.600	46.000			
2	-5.072	-8.399	9.812	0.024	-3.748	
5	-23.126	29.357	37.371	0.191	-0.697	
7	-64.569	-44.301	78.306	0.231	0.596	
8	74.841	-29.969	80.618	1.426	2.762	
25	-18.874	25.712	31.895	0.099	-0.230	
7	64.800	44.896	78.834			
6	64.800	44.896	78.834	0.231	0.596	
8	34.000	9.562	35.319			
6	-73.414	32.731	80.380	1.426	2.762	
9	107.414	-23.169	109.885	2.740	7.348	
9	-99.600	-24.700	102.617			
8	-104.674	30.518	109.032	2.740	7.348	
10	14.208	-2.506	14.428	0.020	-1.015	0.978
11	9.729	14.325	17.316	0.031	-0.970	0.978
12	-35.685	-101.567	107.653	1.185	3.176	
32	16.822	34.483	38.367	0.156	-0.466	
10	-36.800	-27.600	46.000			
9	-14.188	1.491	14.266	0.020	-1.015	
12	-22.612	-29.091	36.846	0.200	-0.992	
11	-24.000	-18.000	30.000			
9	-9.698	-15.295	18.110	0.031	-0.970	
12	-14.302	-2.730	14.561	0.020	-1.055	0.978
12	157.320	512.195	535.810			
10	22.812	28.099	36.193	0.200	-0.992	
11	14.322	1.675	14.420	0.020	-1.055	
13	96.870	33.616	102.537	0.290	0.580	0.932
17	-107.421	150.261	184.709	0.574	3.376	
15	48.075	36.115	60.129	0.075	0.115	
30	8.009	4.906	9.392	0.009	-1.094	
31	37.783	152.748	157.352	2.374	7.467	
9	36.870	104.743	111.043	1.185	3.176	

13		-48.000	4.000	48.166		
	12	-96.580	-33.036	102.074	0.290	0.580
	14	48.580	37.036	61.088	0.580	1.036
14		-48.000	-36.000	60.000		
	13	-48.000	-36.000	60.000	0.580	1.036
15		-48.000	-36.000	60.000		
	12	-48.000	-36.000	60.000	0.075	0.115
16		-96.000	-72.000	120.000		
	17	-96.000	-72.000	120.000	0.474	2.259
17		-72.000	-54.000	90.000		
	12	107.995	-146.885	182.313	0.574	3.376
	16	96.474	74.259	121.744	0.474	2.259
	18	-216.106	-14.683	216.605	2.049	12.632
	29	-60.362	33.308	68.942	1.231	0.953
18		115.000	99.005	151.747		
	17	218.156	27.315	219.859	2.049	12.632
	19	-103.156	71.691	125.621	4.639	14.589
19		160.000	-64.894	172.659		
	18	107.795	-57.101	121.985	4.639	14.589
	20	52.205	-7.793	52.783	0.636	0.834
20		-24.000	12.000	26.833		
	19	-51.569	8.627	52.286	0.636	0.834
	21	13.905	0.040	13.905	0.136	-3.725
	22	13.664	3.333	14.064	0.148	-3.646
21		-14.000	0.820	14.024		
	20	-13.770	-3.765	14.275	0.136	-3.725
	22	-0.230	4.585	4.591	0.013	-2.278
22		-56.000	-12.000	57.271		
	20	-13.515	-6.979	15.211	0.148	-3.646
	21	0.244	-6.863	6.867	0.013	-2.278
	23	-42.728	1.842	42.768	0.418	-0.138
23		-9.000	-30.835	32.122		
	22	43.146	-1.980	43.192	0.418	-0.138
	24	-58.195	-22.127	62.260	0.396	0.706
	25	6.049	-6.729	9.048	0.019	-1.906
24		171.000	35.040	174.553		
	23	58.592	22.832	62.883	0.396	0.706
	25	112.408	12.208	113.069	1.315	3.697
25		-40.000	-30.000	50.000		
	6	18.973	-25.942	32.140	0.099	-0.230
	23	-6.029	4.823	7.721	0.019	-1.906
	24	-111.094	-8.511	111.419	1.315	3.697
	29	86.400	-12.466	87.294	0.806	1.889
	26	-28.249	12.095	30.730	0.308	-3.013
26		-24.000	-18.000	30.000		
	25	28.558	-15.109	32.308	0.308	-3.013
	27	-52.558	-2.891	52.637	0.545	0.842
27		-15.000	32.672	35.951		
	26	53.103	3.733	53.234	0.545	0.842
	28	-68.103	28.939	73.996	2.209	5.616
28		70.312	-23.323	74.079		
	27	70.312	-23.323	74.079	2.209	5.616

29		-24.000	-18.000	30.000		
	17	61.593	-32.355	69.574	1.231	0.953
	25	-85.593	14.355	86.789	0.806	1.889
30		-8.000	-6.000	10.000		
	12	-8.000	-6.000	10.000	0.009	-1.094
31		-4.000	-166.985	167.033		
	12	-35.410	-145.281	149.534	2.374	7.467
	32	15.597	-11.343	19.285	0.039	-0.870
	33	15.813	-10.361	18.905	0.037	-0.875
32		-32.000	-24.000	40.000		
	9	-16.666	-34.950	38.720	0.156	-0.466
	31	-15.558	10.473	18.754	0.039	-0.870
	33	0.224	0.477	0.527	0.000	-1.010
33		-16.000	8.000	17.889		
	31	-15.776	9.487	18.409	0.037	-0.875
	32	-0.224	-1.487	1.504	0.000	-1.010
Total loss					30.232	49.946



Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW

Line Flow and Losses

--Line-- from to	Power at bus & line flow MW	Mvar	MVA	--Line loss-- MW	Mvar	Transformer tap
1	113.000	114.295	160.724			
2	63.935	49.610	80.925	1.468	3.600	
5	49.065	64.685	81.188	1.747	4.026	
2	-16.000	-12.000	20.000			
1	-62.468	-46.010	77.583	1.468	3.600	
3	41.367	29.548	50.836	0.650	0.809	
6	5.101	4.462	6.777	0.023	-3.753	
3	-16.000	-12.000	20.000			
2	-40.716	-28.739	49.837	0.650	0.809	
4	24.716	16.739	29.851	0.716	-1.261	
4	-24.000	-18.000	30.000			
3	-24.000	-18.000	30.000	0.716	-1.261	
5	-24.000	-91.573	94.665			
1	-47.318	-60.658	76.931	1.747	4.026	
6	23.318	-30.914	38.722	0.198	-0.672	
6	-36.800	-27.600	46.000			
2	-5.078	-8.215	9.658	0.023	-3.753	
5	-23.119	30.242	38.067	0.198	-0.672	
7	-64.579	-41.239	76.623	0.221	0.560	
8	74.825	-29.457	80.415	1.418	2.732	
25	-18.849	21.068	28.269	0.078	-0.308	
7	64.800	41.799	77.111			
6	64.800	41.799	77.111	0.221	0.560	
8	34.000	9.020	35.176			
6	-73.407	32.188	80.154	1.418	2.732	
9	107.407	-23.168	109.877	2.740	7.347	
9	-99.600	-24.700	102.617			
8	-104.667	30.515	109.025	2.740	7.347	
10	14.207	-2.506	14.426	0.020	-1.015	0.978
11	9.727	14.326	17.316	0.031	-0.970	0.978
12	-35.688	-101.566	107.653	1.185	3.176	
32	16.821	34.484	38.367	0.156	-0.466	
10	-36.800	-27.600	46.000			
9	-14.187	1.491	14.265	0.020	-1.015	
12	-22.613	-29.091	36.846	0.200	-0.992	
11	-24.000	-18.000	30.000			
9	-9.696	-15.295	18.110	0.031	-0.970	
12	-14.304	-2.729	14.562	0.020	-1.055	0.978
12	157.320	511.482	535.129			
10	22.813	28.099	36.194	0.200	-0.992	
11	14.324	1.674	14.421	0.020	-1.055	
13	96.870	33.616	102.537	0.290	0.580	0.932
17	-107.428	149.550	184.136	0.570	3.352	
15	48.075	36.115	60.129	0.075	0.115	
30	8.009	4.906	9.392	0.009	-1.094	
31	37.784	152.748	157.352	2.374	7.467	
9	36.873	104.742	111.043	1.185	3.176	
13	-48.000	4.000	48.166			
12	-96.580	-33.036	102.074	0.290	0.580	

	14	48.580	37.036	61.088	0.580	1.036
14		-48.000	-36.000	60.000		
	13	-48.000	-36.000	60.000	0.580	1.036
15		-48.000	-36.000	60.000		
	12	-48.000	-36.000	60.000	0.075	0.115
16		-96.000	-72.000	120.000		
	17	-96.000	-72.000	120.000	0.474	2.259
17		-72.000	-54.000	90.000		
	12	107.998	-146.199	181.763	0.570	3.352
	16	96.474	74.259	121.744	0.474	2.259
	18	-216.086	-14.412	216.566	2.048	12.624
	29	-60.386	32.353	68.507	1.214	0.826
18		115.000	98.718	151.559		
	17	218.134	27.037	219.803	2.048	12.624
	19	-103.134	71.681	125.598	4.638	14.583
19		160.000	-64.895	172.660		
	18	107.772	-57.098	121.963	4.638	14.583
	20	52.228	-7.797	52.807	0.637	0.836
20		-24.000	12.000	26.833		
	19	-51.592	8.633	52.309	0.637	0.836
	21	13.914	0.037	13.914	0.136	-3.724
	22	13.678	3.329	14.077	0.149	-3.645
21		-14.000	0.821	14.024		
	20	-13.778	-3.762	14.283	0.136	-3.724
	22	-0.222	4.583	4.588	0.013	-2.278
22		-56.000	-12.000	57.271		
	20	-13.529	-6.974	15.221	0.149	-3.645
	21	0.235	-6.860	6.864	0.013	-2.278
	23	-42.706	1.834	42.745	0.418	-0.140
23		-9.000	-32.878	34.088		
	22	43.124	-1.974	43.169	0.418	-0.140
	24	-58.149	-22.136	62.220	0.396	0.703
	25	6.026	-8.768	10.639	0.027	-1.882
24		171.000	29.684	173.557		
	23	58.545	22.838	62.842	0.396	0.703
	25	112.455	6.846	112.663	1.305	3.659
25		35.000	-30.000	46.098		
	6	18.927	-21.376	28.551	0.078	-0.308
	23	-5.999	6.886	9.132	0.027	-1.882
	24	-111.150	-3.186	111.196	1.305	3.659
	29	86.402	-11.660	87.185	0.801	1.867
	26	46.820	-0.663	46.825	0.667	-0.887
26		-24.000	-18.000	30.000		
	25	-46.153	-0.224	46.154	0.667	-0.887
	27	22.153	-17.776	28.403	0.154	-0.570
27		-15.000	21.025	25.828		
	26	-22.000	17.206	27.929	0.154	-0.570
	28	7.000	3.819	7.974	0.029	-2.215
28		-6.970	-6.034	9.219		
	27	-6.970	-6.034	9.219	0.029	-2.215
29		-24.000	-18.000	30.000		
	17	61.601	-31.527	69.199	1.214	0.826

	25	-85.601	13.527	86.663	0.801	1.867
30		-8.000	-6.000	10.000		
	12	-8.000	-6.000	10.000	0.009	-1.094
31		-4.000	-166.985	167.033		
	12	-35.411	-145.281	149.534	2.374	7.467
	32	15.597	-11.343	19.286	0.039	-0.870
	33	15.813	-10.361	18.906	0.037	-0.875
32		-32.000	-24.000	40.000		
	9	-16.665	-34.950	38.720	0.156	-0.466
	31	-15.559	10.473	18.755	0.039	-0.870
	33	0.224	0.477	0.527	0.000	-1.010
33		-16.000	8.000	17.889		
	31	-15.776	9.487	18.409	0.037	-0.875
	32	-0.224	-1.487	1.504	0.000	-1.010
Total loss					27.950	42.477