

Tata Spasial Candi Bahal I, II dan III di Padang Lawas Utara, Sumatera Utara

Ari Siswanto¹, Ardiansyah², Farida R. Wargadalem³, Kristantina Indriastuti⁴

^{1,2} Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

³ Program Studi Pendidikan Sejarah, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya, Palembang

⁴ Balai Arkeologi Palembang, Palembang

Abstrak

Situs permandian Bahal di Padang Lawas Utara yang terdiri dari tiga kompleks yang berdekatan memberikan gambaran pola tata spasial yang terkait dengan lingkungannya. Masing-masing kompleks permandian memiliki tata spasial yang berbeda karena jumlah massa yang berbeda. Tujuan penelitian adalah mengkaji tata spasial kompleks permandian Bahal I, II dan III serta menganalisis keterkaitannya dengan karakteristik candi. Penelitian kualitatif dengan pendekatan studi kasus digunakan melalui kegiatan observasi, pengukuran, penggambaran dan wawancara di lapangan. Layout candi Bahal I, II dan III membentuk konfigurasi massa dan spasial yang jelas. Ketiga kompleks permandian tersebut menunjukkan axis yang kuat serta hierarkhi yang jelas berdasarkan pada jumlah massa candi Perwara dan dimensi candi utama. Axis yang terbentuk dari pola tata spasial telah mempertegas candi sebagai bangunan suci yang memiliki formalitas dan keseimbangan yang sangat kuat.

Kata-kunci : candi Bahal, tata spasial, orientasi dan hierarkhi

Spatial Planning of Bahal I, II and III Temples in Padang Lawas Utara, North Sumatra

Abstract

Bahal's temple site in Padang Lawas Utara which consists of three adjacent complexes provides an overview of spatial patterns related to the environment. Each temple complex has a different spatial layout due to different amounts of mass. The purpose of the study was to examine the spatial layout of the Bahal I, II and III temple complexes and analyze their relationship to the characteristics of the temple. Qualitative research with a case study approach is used through observation, measurement, drawing and interview activities in the field. The layout of the Bahal I, II and III temples forms a clear mass and spatial configuration. The three temple complexes show a strong axis and clear hierarchy based on the mass number of the Perwara temple and the dimensions of the main temple. The axis formed from the spatial layout pattern has emphasized the temple as a sacred building that has a very strong formality and balance.

Key words : Bahal temple, spatial layout, orientation and hierarchy

Kontak Penulis

Ari Siswanto

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang.

Tel : +6208127115996

E-mail : ari_sisw58@yahoo.co.id

Informasi Artikel

Diterima editor tanggal 15 September 2019. Revisi tanggal 20 Desember 2019. Disetujui untuk diterbitkan tanggal 20 Maret 2020

ISSN 2301-9247 | E-ISSN 2622-0954 | <https://jlbi.iplbi.or.id/> | © Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI)

Pengantar

Situs percampuran di Padang Lawas, Sumatera Utara merupakan peninggalan Hindu-Buddha pada masa Sriwijaya (Dupont, 1937; Perret, 2014; Sastri, 1940) Kegiatan pemugaran percampuran di Padang Lawas meliputi wilayah baru dilakukan sebagian kecil saja. Kompleks percampuran yang sudah dipugar diantaranya adalah Candi Bahal I, II dan III yang terletak di desa Bahal, Kecamatan Padang Bolak, Kabupaten Padang Lawas Utara. Penduduk setempat lebih akrab dengan istilah *biaro* untuk menyebutkan candi (Dupont, 1937; Mulyati, 2012) *Biaro* juga berarti *biara*, yang merupakan adopsi dari kata dalam bahasa Sansekerta yang memiliki makna *biara* atau kemudian menjadi *vihara* (tempat belajar mengajar dan ibadah). Hal ini semakin menegaskan adanya pengaruh agama Buddha.

Situs Padang Lawas bersama situs-situs lainnya seperti Bumiayu di Sumatera Selatan, Muaro Jambi di Jambi, Padangroco di Sumatera Barat dan Muaro Takus di Riau merupakan situs penting yang mewarnai jejak kejayaan arsitektur di masa kerajaan Sriwijaya (gambar 1). Areal situs Padang Lawas secara administratif terletak di Kecamatan Lubuk Barumun, di Kecamatan Barumun dan Kecamatan Barumun Tengah (Kabupaten Padang Lawas) serta Kecamatan Padang Bolak (Kabupaten Padang Lawas Utara).



Gambar 1. Lokasi Situs Candi Bahal di Padang Lawas Utara, Sumatera Utara

Artikel ini merupakan sebagian dari penelitian yang berkaitan dengan pendekatan arsitektural candi Bahal I, II dan III yang meliputi aspek desain, struktur, pengaruh lingkungan secara makro dan mikro serta tata ruang candi. Selanjutnya, untuk memahami dan mempelajari candi dipergunakan pendekatan bentuk dan keragaman langgam arsitektur dan struktur yang berkaitan dengan pola tata spasial candi serta setting kosmologi candi secara makro dan mikro.

Tata spasial ketiga kompleks candi Bahal yang letaknya terpisah memiliki perbedaan dengan tata spasial situs candi Muaro Takus dan situs Muaro Jambi. Ketiga situs percampuran yaitu Padang Lawas, Muaro Takus dan Muaro Jambi terletak di dekat sungai yang merupakan ciri lokasi candi masa Sriwijaya. Situs Candi Bahal terletak di dekat sungai Batang Pane yang bermuara di sungai Barumun, merupakan urat nadi perdagangan penting sejak masa lalu. Sungai Barumun yang bermuara di selat Malaka menjadi akses perdagangan komoditas di pedalaman Sumatera Utara yang keluar melalui selat Malaka.

Sebagai bangunan suci, konfigurasi ketiga kompleks percampuran Bahal membentuk tata spasial yang terkait dengan konteks makro dan mikro kosmos. Ruang dan orientasi yang terbentuk melalui penataan massa candi dipengaruhi oleh aspek kosmologi (Hardy, 2016; Harto, 2005). Ruang dapat direpresentasikan sebagai kosmos yang tidak terbatas (makro) serta kosmos yang terbatas (mikro) dan hal ini menjadi pedoman bagi pendirian candi.

Ruang dalam arti spasial adalah elemen tiga dimensi yang memiliki fungsi sehingga dapat diwujudkan dan dipolakan sebagai bentuk geometri yang memiliki proporsi. Spasial untuk bangunan suci dapat dirancang untuk mawadahi kebutuhan aktifitas peribadatan yang dapat memberi kenyamanan dan keindahan dari ruang terbuka yang tercipta. Secara umum, tata spasial candi memiliki makna arsitektur yang berkaitan dengan kegiatan manusia yang dipengaruhi oleh kondisi makro dan mikro kosmos.

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji tata spasial kompleks percampuran Bahal I, II dan III secara makro dan mikro serta menganalisis keterkaitannya dengan karakteristik candi masa kerajaan Sriwijaya.

Bangunan candi adalah bangunan suci untuk fungsi keagamaan dengan berbagai kegiatan yang dirancang secara monumental dan memenuhi semua persyaratan aspek arsitektural seperti langgam arsitektur, struktur, utilitas dan tata ruang atau tapak dari suatu bangunan atau kompleks bangunan (Hardy, 2016; Harto, 2005). Sebagai pedoman dalam pembangunan candi di India, ilmu arsitektur yang diklasifikasikan sebagai *Vasthu Satra* dalam kitab *Silpastra* (Bose, 1926; Santiko, 2014).

Candi Bahal dikenal juga dengan nama *biaro Portibi* adalah nama yang mengacu pada kompleks candi dari umat yang beraliran Buddha Vajrayana (A. Siswanto, Farida, Ardiansyah, 2017; Susetyo, 2014). Penjelasan tertulis mengenai waktu ditemukannya kompleks *biaro* di Padang Lawas diperoleh dari seorang geolog bernama Franz Junghun, seorang Komisaris Hindia Timur pada tahun 1846. Setelah kunjungan Junghun, Padang Lawas berturut-turut dikunjungi oleh von Rosenberg pada tahun 1854 dan Kerkhoff pada tahun 1887. Selanjutnya berdasarkan laporan dari Franz Junghun tahun 1846,

Schnitger menjelaskan tentang reruntuhan arkeologis candi di daerah Padang Lawas, Portibi yang memiliki ciri Hindu (Dupont, 1937; Mulyati, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa bukan hal yang mudah untuk menentukan candi di Sumatera sebagai candi Hindu atau Buddha karena adanya pengaruh aliran Buddha Vajrayana.

Kerajaan Sriwijaya yang sebagian besar masyarakatnya beragama Buddha memiliki hubungan yang baik dan hidup berdampingan dengan masyarakat yang beragama Hindu. Oleh sebab itu, pendirian candi Hindu dimungkinkan pada masa kerajaan Sriwijaya seperti candi Bumiayu, Padang Roco dan Bahal.

Metode Penelitian

Penelitian kualitatif yang digunakan adalah metode studi kasus dengan lokasi penelitian meliputi 3 (tiga) kompleks percandian Bahal di Padang Lawas, Kabupaten Padang Lawas Utara di Provinsi Sumatera Utara. Penelitian meliputi candi Bahal I, candi Bahal II dan Candi Bahal III serta tapak dari masing-masing candi tersebut. Temuan di lapangan di analisis secara makro dan mikro sebagai satu kesatuan dari ketiga kompleks candi Bahal.

Kegiatan penelitian meliputi observasi, pengukuran, pemotretan, penggambaran detail candi serta wawancara dengan partisipan terkait. Partisipan dalam penelitian adalah seseorang yang memiliki kriteria sebagai pengelola kompleks percandian Padang Lawas, ahli sejarah candi, tokoh masyarakat setempat, staf dari Balai Arkeologi (Balar) dan staf dari Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) yang memiliki kompetensi di bidangnya. Validasi dari data lapangan melibatkan pihak atau pakar yang memiliki kompetensi dalam aspek percandian.

Hasil Analisis dan Pembahasan

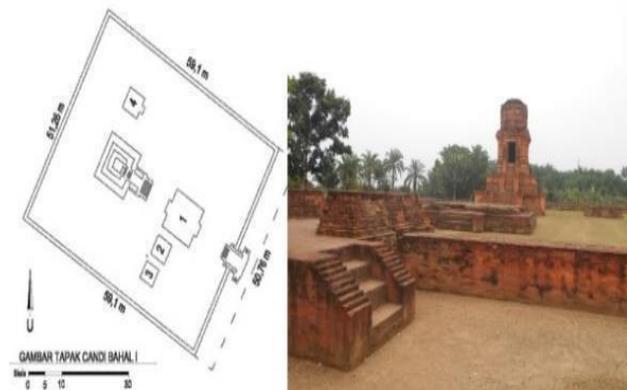
Candi Bahal I, II dan III terletak secara linear yang sejajar dengan sungai Batang Pane (gambar 2). Ketiga kompleks percandian yang terletak dekat dengan sungai menandakan bahwa sungai atau sumber air adalah aspek yang sangat penting dan merupakan salah satu pedoman dalam pemilihan lokasi candi (Bose, 1926; Lahiri & Bacus, 2004; Wiyanti, 2018).

Sungai Batang Pane yang bermuara pada sungai Barumun yang mengalir sampai pantai timur Sumatera dan bermuara di selat Malaka adalah jalur perdagangan penting di masa kerajaan Sriwijaya. Secara geografis, lokasi kompleks percandian Bahal terletak di sebelah utara sungai Batang Pane. Jarak antara candi Bahal I dengan candi Bahal II serta candi Bahal II dengan candi Bahal III sekitar 500 m.



Gambar 2. Ketiga Kompleks Percandian Bahal I, II dan III terletak memanjang di dekat sungai Batang Pane (sumber: Google Earth).

Candi Bahal I terdiri dari candi utama dan empat candi Perwara. Berdasarkan tapak, candi utama, Perwara 1 dan gerbang membentuk axis yang kuat. Selanjutnya berdasarkan konfigurasi, Perwara 1, 2 dan 3 terletak sejajar dengan candi utama dan Perwara 4 (gambar 3), kondisi ini membentuk keseimbangan susunan massa antara sisi kiri dengan sisi kanan halaman candi.



Gambar 3. Kompleks Percandian Bahal I terlihat dari arah gerbang candi yang memiliki akses dari kiri dan kanan.

Tata letak massa di kompleks candi Bahal I membentuk beberapa ruang dengan fungsi berbeda. Ruang/*space* tersebut terletak di bagian belakang candi, di depan Perwara 4, di dekat Perwara 2 dan 3 serta di belakang Perwara 2 dan 3. Fungsi ruang memiliki keterkaitan dengan tangga pada candi utama atau Perwara. Di bagian luar gerbang, terdapat *entrance* dari kanan dan kiri sedangkan di bagian dalam gerbang, *entrance* di tengah.

Candi Bahal II terdiri dari candi utama dan 2 candi Perwara. Candi utama, Perwara 01 dan gerbang membentuk axis yang kuat. Perwara 02 terletak di sebelah kiri candi utama (gambar 4). Konfigurasi perletakkan massa telah membentuk ruang/*space* dengan dimensi dan fungsi berbeda. Ruang terbuka terletak di bagian belakang candi, di depan Perwara 02 serta di bagian kanan candi utama dan Perwara 01. Gerbang masuk ke dalam

kompleks candi Bahal II dapat dicapai melalui *entrance* dari tengah (satu arah).



Gambar 4. Kompleks Percandian Bahal II memiliki dua candi Perwara dan axis yang kuat.

Kompleks candi Bahal III terdiri dari candi utama dan 1 candi Perwara. Candi utama, Perwara dan gerbang membentuk axis yang sangat kuat. Terbentuk ruang/*space* di bagian belakang candi, serta di bagian kanan dan kiri candi (gambar 5). Pengunjung candi diarahkan langsung dari gerbang menuju candi utama setelah melalui Perwara. Di bagian luar gerbang, terdapat *entrance* yang dapat dinaiki dari arah kanan dan kiri sedangkan di bagian dalam gerbang terdapat *entrance* di bagian tengah.

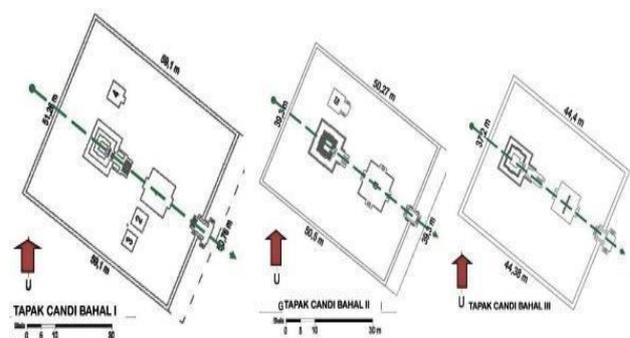
Berdasarkan analisis terhadap dimensi dari tapak dan candi utama serta jumlah massa dari candi Bahal I, II dan III, dapat dijelaskan bahwa hierarki I adalah candi Bahal I, hierarki II adalah candi Bahal II serta hierarki terakhir adalah candi Bahal III. Ketiga kompleks candi memiliki orientasi yang sama yaitu arah tenggara. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan yang sangat kontras dengan orientasi candi di Jawa Tengah dan di Jawa Timur, candi di Jawa Tengah pada umumnya berorientasi ke arah timur sebaliknya candi-candi di Jawa Timur pada umumnya memiliki orientasi ke arah barat (Prasetyo, 2014). Adanya perbedaan orientasi candi merupakan hal yang sangat menarik sebab unsur lokal memiliki pengaruh terhadap penentuan arah orientasi candi di Sumatera.



Gambar 5. Kompleks candi Bahal III terdiri dari candi utama dan satu candi Perwara.

Selanjutnya, letak tangga pada gerbang serta posisi candi Perwara dan candi utama mengindikasikan keterkaitan antara sirkulasi dan fungsi spasial yang terbentuk oleh massa bangunan (gambar 6). Candi Perwara di depan candi utama sering disebut sebagai Mandapa (Ray, 2009).

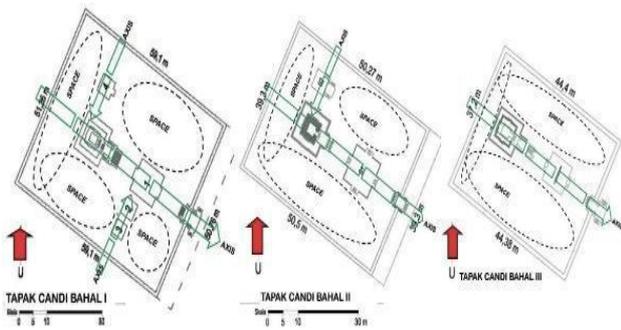
Berdasarkan kosmologi percandian di India, terdapat axis vertikal dan axis horizontal pada tapak percandian (Hardy, 2016). Axis vertikal direpresentasikan dari dasar candi utama menuju ke atas melalui puncak candi sedangkan axis horizontal ditarik dari (sejajar) candi utama ke arah empat penjuror angin dan hal ini terkait dengan prinsip kosmologi candi (Harto, 2005). Konsep axis vertikal candi Bahal I, II dan III diperkuat dengan adanya ruang tertutup atap di badan candi, dikenal sebagai Garbhaghra (Hardy, 2016; Harto, 2005; Santiko, 2014). Jika melihat komposisi massa tapak candi Bahal I, II dan III terdapat perbedaan tetapi secara prinsip axis horizontal adalah sama.



Gambar 6. Orientasi dari ketiga kompleks percandian Bahal I, II dan III yang menuju arah tenggara.

Konfigurasi dari candi utama, Perwara di depan candi utama dan gerbang membentuk axis kuat dan bersifat formal seperti lazimnya bangunan suci. Terdapat korelasi antara axis, tangga dan ruang terbuka yang terbentuk pada candi Bahal I dan Bahal III memiliki kemiripan dan hal ini sedikit berbeda dengan konfigurasi dari candi Bahal II. Axis merupakan suatu petunjuk arah yang juga merepresentasikan pergerakan secara imajinasi dan secara fisik adalah jalur (paths) dari sirkulasi pengunjung atau pengguna di kompleks percandian.

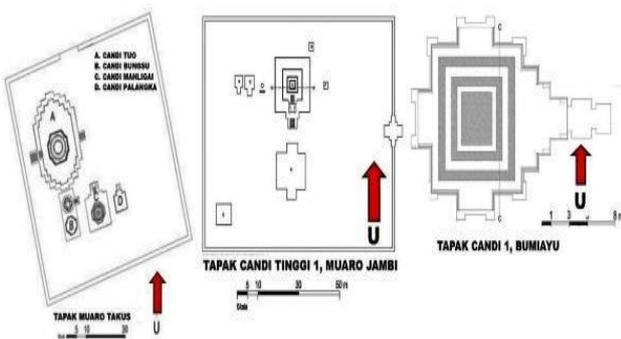
Secara umum, candi Bahal I, II dan III memiliki karakter sebagai candi Hindu tetapi pada candi Bahal II terdapat Perwara (candi 02) yang bagian atasnya mengindikasikan adanya bentuk stupa sebagai pengaruh dari aliran Buddha Vajrayana. Hal ini menunjukkan adanya pluralism kegiatan keagamaan seperti halnya kemajemukan pada kegiatan non keagamaan (Leonard, 2011). Pengaruh Buddha Vajrayana juga terlihat pada candi Bumiayu (Sumatera Selatan).



Gambar 7. Tiga Kompleks Percandian Bahal I, II dan III dan ruang/spasial yang terbentuk.

Susunan massa candi yang terdapat pada candi Bahal I, II dan III telah membentuk ruang terbuka dengan fungsi berbeda (gambar 7). Berdasarkan zonasi candi, tata spasial candi dibagi menjadi tiga yaitu zona publik, zona biarawan dan zona privat. Zona privat adalah ruang yang dipergunakan untuk kegiatan ritual keagamaan serta untuk penempatan stupa dan upacara keagamaan. Zona biarawan adalah ruang untuk Bhikkhu dan samanera melakukan kegiatan non-agama, sedangkan zona publik adalah ruang untuk pengunjung candi dan biarawan berinteraksi (Leonard, 2011; Sasiwongsaroj, Pornsiripongse, Burasith, Ketjamnong, & Koosakulrat, 2012). Walaupun demikian, dalam perkembangannya, komposisi massa bangunan candi, entrance dan orientasi candi tetap memiliki pengaruh terhadap fungsi halaman candi secara spasial.

Tata spasial candi Bahal I yang lebih kompleks dibandingkan candi Bahal II dan III menunjukkan hierarki tertinggi diantara ketiga kompleks candi tersebut. Semakin kompleks tata spasial candi semakin kompleks pula sirkulasi yang terjadi di dalamnya sebagai akibat dari terjadinya overlapping kegiatan diantara ruang/spasial di halaman candi. Hierarki tertinggi dari candi Bahal I juga ditunjukkan melalui bangunan candi utama, candi Bahal I yang lebih tinggi dibandingkan candi Bahal II dan III serta halaman candi yang lebih luas dan lebih tinggi permukaannya dibandingkan candi Bahal II dan III.



Gambar 8. Tiga Kompleks Percandian Muaro Takus, Candi Tinggi (Muaro Jambi) dan Candi I (Bumiayu) yang memiliki orientasi berbeda jika dibandingkan dengan candi Bahal I, II dan III

Bila dibandingkan dengan konfigurasi candi lainnya Muaro Takus (Riau), candi Tinggi (Muaro Jambi) dan Candi 1 (Bumiayu), tidak terdapat axis kuat yang terbentuk antara candi utama, Perwara di depan dan gerbang candi (gambar 8). Sebagai contoh candi Muaro Takus yang memiliki orientasi tidak jelas tetapi spasial yang terbentuk jelas. Candi Mahligai memiliki arah ke gerbang candi Muaro Takus, hal ini dapat dipertimbangkan sebagai axis karena candi Mahligai adalah yang tertinggi tetapi candi yang memiliki dimensi paling besar adalah candi Tuo dengan dua arah tangga candi.

Selanjutnya, candi Tinggi, di Muaro Jambi (Jambi) memiliki orientasi ke arah selatan dan spasial yang terbentuk jelas. Walaupun demikian, axis yang terbentuk tidak didukung dengan perletakkan gerbang candi. Kenyataan lain yang berbeda terlihat di Candi 1 di Bumiayu (Sumatera Selatan), memiliki orientasi ke arah timur dan tata spasial yang terbentuk jelas.

Berdasarkan penjelasan di atas, konektivitas antara pintu gerbang dengan Perwara di depan candi utama tidak terlihat dengan jelas. Demikian juga fungsi ruang secara spasial yang dipergunakan secara bersama atau berdasarkan pada arah tangga candi sebagai entrance tidak begitu kuat. Untuk kasus candi Tinggi (Muaro Jambi) dan Candi I (Bumiayu) diperlukan penelitian lebih lanjut sebab kedua candi tersebut adalah bagian dari beberapa candi dalam satu kawasan yang sangat luas, lebih luas dibandingkan dengan halaman candi Bahal I.

Kesimpulan

Pola tata tapak candi Bahal I, II dan III memiliki kemiripan dengan axis secara horizontal yang kuat yang terbentuk dari candi utama, perwara di depannya dan gerbang candi. Axis yang terbentuk dapat memberikan kesan formal dan tegas dari suatu bangunan suci. Berdasarkan jumlah massa bangunan dari candi Bahal I, II dan III, maka hierarki pertama adalah candi Bahal I dan hierarki berikutnya adalah candi Bahal II serta hierarki terakhir adalah candi Bahal III. Kedudukan hierarki candi tersebut juga sesuai dengan luas halaman dan ukuran tinggi candi Bahal I, II dan III. Konfigurasi massa pada candi Bahal I, II dan III telah membentuk ruang terbuka yang secara spasial berbeda. Ruang terbuka dan *entrance* (tangga) candi sebagai pengarah sirkulasi dari pengguna candi saat kegiatan keagamaan maupun bukan kegiatan keagamaan. Tata spasial candi Bahal I, II dan III merupakan karakter dari candi masa Sriwijaya yang berada di dekat sungai dan sungai tersebut merupakan jalur transportasi masa lalu yang bermuara di selat Melaka. Berdasarkan orientasi, tata spasial candi Bahal berorientasi ke arah Tenggara.

Daftar Pustaka

- Siswanto, A., Wargadalem, F. R., & Ardiansyah, H. W. S. (2017). *Pariwisata dan Pelestarian: Suatu Pendekatan untuk Mencegah Kerusakan pada Bangunan Candi Masa Sriwijaya*. (1937), C029–C038. <https://doi.org/10.32315/sem.1.c029>
- Bose, P. N. (1926). *Principles of Indian Silpasastra* (T. W.-K. & E. Scholars, ed.). Lahore: Moti Lal Banarsi Das.
- Dupont, P. (1937). F. M. Schnitger: The Archaeology of Hindoo-Sumatra. *Bulletin de l'Ecole Francaise d'Extreme-Orient*, 37, 527–529.
- Hardy, A. (2016). Hindu Temples and the Emanating Cosmos. *Religion and the Arts*, 20(1–2), 112–134. <https://doi.org/10.1163/15685292-02001006>
- Harto, D. B. (2005). Tata Cara Pendirian Candi Perspektif Negara kertagama. *Imajinasi*, 1(2), 1–18.
- Lahiri, N., & Bacus, E. A. (2004). Exploring the archaeology of Hinduism. *World Archaeology*, 36(3), 313–325. <https://doi.org/10.1080/00438240420000282768>
- Leonard, K. (2011). Hindu temples in Hyderabad: State patronage and politics in South Asia. *South Asian History and Culture*, 2(3), 352–373. <https://doi.org/10.1080/19472498.2011.577568>
- Mulyati, S. (2012). Beberapa Upaya Konservasi Pencegahan di Sumatera (Sebuah Solusi Alternatif). *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 6(7), 36–43.
- Perret, D. (Ed.). (2014). *History of Padang Lawas North Sumatra II*. Cahier d'Archipel 43 Paris 2014.
- Prasetyo, H. E. A. S. (2014). Anasir-anasir Esoterisme Pada Situs Candi Cetho. *AVATARA, e-Journal Pendidikan Sejarah*, 2(1), 110–121.
- Ray, H. P. (2009). The shrine in early Hinduism: The changing sacred landscape. *Journal of Hindu Studies*, 2(1), 76–96. <https://doi.org/10.1093/jhs/hip006>
- Santiko, H. (2014). The Structure of Stupas at Muara Jambi. *Kalpataru*, 23(2), 113–120.
- Sasiwongsaraj, K., Pornsiripongse, S., Burasith, Y., Ketjamnong, P., & Koosakulrat, N. (2012). *Buddhist Temple: The Well-being Space for the Aged in Thailand*. 20(2), 2–19.
- Sastri, N. (1940). I. Sri Vijaya. *Bulletin de l'Ecole Française d'Extrême-Orient*, 40(2), 239–313. <https://doi.org/10.3406/befeo.1940.4796>
- Susetyo, S. (2014). *AR*. (4), 101–112.
- Wiyanarti, E. (2018). River and Civilization in Sumatera's Historical Perspective in the 7th to 14th Centuries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 145 (1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/145/1/012123>