



PONDASI RAMAH LINGKUNGAN di TANAH RAWA: KAJIAN KEKUATAN DAN KETAHANAN PONDASI KALANG PADA RUMAH TRADISIONAL BANJAR

Muhammad Deddy Huzairin¹, Anna Oktaviana¹

¹ Staf Pengajar Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Penulis korespondensi: Muhammad Deddy Huzairin, deddyhuz@ulm.ac.id

Naskah diajukan pada: 03 Desember 2021

Naskah revisi akhir diterima pada: 22 September 2022

Abstrak

Pondasi Kalang pada Rumah Tradisional Banjar adalah pondasi yang sudah digunakan selama ratusan tahun di kawasan tanah rawa di Banjarmasin dan sekitarnya, merupakan pondasi yang sudah teruji kekuatan dan ketahanannya selama ratusan tahun. Sebagai suatu jenis pondasi yang sudah teruji oleh waktu, beban dan cuaca, sistem struktur pondasi rumah tradisional Banjar tersebut merupakan obyek struktur yang sangat berharga untuk dikaji lebih mendalam tentang kekuatan, efisiensi dan efektifitasnya. Untuk mengkaji kekuatan dan ketahanannya dilakukan melalui identifikasi pondasi tersebut dari literatur dan survey lapangan, serta perhitungan terhadap beban dan tegangan yang terjadi pada rumah model dibandingkan dengan beban dan tegangan maksimal. Hasil analisis menunjukkan bahwa pondasi Kalang terdiri dari elemen Tihang, Tongkat, Sunduk dan Kalang, dimana 3 bahan yang pertama terbuat dari kayu ulin (*Eusideroxylon Zwageri*) yang tahan terhadap iklim dan cuaca, sedangkan Kalang terbuat dari kayu kapurnaga (*Calophyllum Soulattri*) atau galam (*Melaleuca Leucadendron*), namun ditempatkan selalu di bawah air tanah terendah sehingga terhindar dari pelapukan. Tihang dan Tongkat sangat kuat, dimana kuat tekan dan kuat tekuknya jauh melebihi beban yang bekerja padanya. Sunduk memiliki ketahanan dan kekuatan dalam menahan beban yang bekerja padanya, dimana hal ini ditunjukkan oleh tegangan lentur, tegangan geser dan tegangan tumpunya yang cukup jauh di bawah tegangan izinnnya. Daya dukung pondasi kalang galam/ kapurnaga lebih besar dari beban yang bekerja padanya, kecuali pada Tihang koordinat 15-W dan 17-W yang melebihi daya dukung dengan selisih yang relatif kecil sebesar 1,06 kg. Karenanya pondasi kalang dapat menghindari penurunan struktur atau badan bangunan.

Kata-kata Kunci: Pondasi, Kalang, Tihang, Tongkat, Sunduk.

ECO FRIENDLY FOUNDATIONS IN SWAMP LAND: STUDY OF STRENGTH AND RESISTANCE OF KALANG FOUNDATIONS OF TRADITIONAL BANJAR HOUSES

Abstract

The Kalang Foundation of the Banjar Traditional House is a foundation that has been used for hundreds of years in the swampy area of Banjarmasin and its surroundings. A foundation that has been tested for strength and durability for hundreds of years. But currently not used anymore. As a type of foundation tested by time, load, and weather, the traditional Banjar house foundation

*structure system is a valuable structural object to be studied more deeply in its strength, efficiency, and effectiveness. It is done to assess its strength and durability by identifying the foundation from literature and field surveys, as well as calculating the loads and stresses that occur in the model house compared to the maximum load and stress. The analysis results show that the Kalang foundation consists of elements of Tihang, Tongkat, Sunduk, and Kalang, where the first three materials are made from ulin wood (*Eusideroxylon Zwageri*) which is resistant to climate and weather. In contrast, the Kalang is made of kapurnaga (*Calophyllum Soulattri*) or galam (*Melaleuca Leucadendron*) but is always placed under the lowest groundwater so as to avoid weathering. Tihang and Tongkat are very strong, and their compressive and flexural strength far exceeds the load acting on them. Sunduk has resistance and strength to withstand the loads acting on it, which is indicated by the bending stress, shear stress, and bearing stress far below the allowable stress. The bearing capacity of the kalang galam/kapurnaga foundation is greater than the load acting on it, except for Tihang coordinates 15-W and 17-W, which exceeds the bearing capacity by a relatively small difference of 1.06 kg. Because of this, the foundation can prevent the lowering of the structure or body of the building.*

Keywords: Foundation, Kalang, Tihang, Tongkat, Sunduk.

1. Pendahuluan

Perkiraan terbaru luas daratan dan pesisir untuk lahan basah di dunia lebih dari 12,1 juta km², di mana rawa-rawa (di tanah aluvial) termasuk dataran banjir seluas 2,53 juta km². (Ramsar Convention on Wetlands, 2018). Berdasarkan peta, lahan basah mencakup 21,0% (396.000 km²) dari daratan Indonesia, dimana 22,9% berada di Kalimantan (122.000 km²) (Margono *et al.*, 2014).

Banjarmasin adalah ibu kota Kalimantan Selatan. Terletak di pulau delta dekat persimpangan sungai Barito dan Martapura. Kota ini meliputi area seluas 98,46 km². Kemiringan kota adalah 0,13% dan tanah umumnya datar dan dataran rendah. Banjarmasin merupakan daerah rawa dengan susunan geologi terutama bagian bawahnya didominasi oleh lempung sisipan pasir halus dan tanah aluvial yang didominasi struktur lempung (<https://en.wikipedia.org/wiki/Banjarmasin>), dimana lapisan tanah lunak memiliki ketebalan sampai dengan 25 m, tanah keras rata-rata terdapat pada kedalaman sekitar 40 m (Yudiawati, 2008).

Banjarmasin dengan jumlah penduduk 715.703 jiwa pada tahun 2020 (BPS Kota Banjarmasin, 2020), mengalami pertumbuhan ekonomi yang cukup signifikan yang memicu perkembangan fisik kota, termasuk perumahan. Perkembangan fisik yang pesat ini telah mengubah lingkungan rawa-rawa, dimana sebagian besar pembangunan dilakukan dengan mengurug lahan.

Namun dalam beberapa tahun terakhir terjadi beberapa kasus kegagalan struktur rumah tinggal, dimana semua kasus disebabkan terjadinya kegagalan pada struktur bawah atau pondasi. Selain kegagalan yang menyebabkan runtuhnya bangunan, terdapat lebih banyak lagi kasus terjadinya kerusakan beberapa bagian bangunan, yaitu: keretakan pada dinding pasangan bata dan penurunan struktur pada bagian yang berada di bawah dinding dan/atau di kamar mandi. Dari tahun 2018 sampai dengan 2021 terdapat 21 rumah yang runtuh (Tribun Banjar, Kompas, Apahabar, Koranbanjar, Kumparan, Kanal Kalimantan). Data ini didapatkan dari media mainstream dan media online dengan kondisi rumah yang betul-betul runtuh. Data ini tidak termasuk rumah runtuh yang tidak dimuat di media tersebut, dan juga tidak termasuk rumah yang belum runtuh namun mengalami kerusakan struktur yang berpotensi untuk runtuh. Semua rumah tersebut kegagalan strukturnya bermula dari bagian pondasi.

Karenanya diperlukan suatu upaya untuk mendapatkan suatu sistem struktur pondasi yang aman, namun juga efisien dan ramah lingkungan terhadap tanah rawa serta dari bahan yang bisa diperbaharui. Pondasi dengan cara pengurugan lahan rawa dapat menyebabkan masalah lingkungan

yang lebih luas (Heldiansyah, 2014). Karenanya pondasi dengan sistem panggung lebih ramah terhadap lingkungan tanah rawa.

Dalam hal pondasi sistem panggung ada beberapa pilihan jenis pondasi untuk rawa di Banjarmasin (Bondan, 1953) (Srihandayani, 2018). Salah satu alternatif tersebut adalah pondasi Kalang pada rumah tradisional Banjar. Dimana masih terdapat puluhan rumah tradisional Banjar yang berusia lebih dari 100 tahun, yang masih bertahan dengan kokoh dan hampir tidak mengalami perubahan bentuk struktur (Saleh, 1983) (Seman, 2001). Sebagai struktur yang sudah teruji oleh waktu, beban dan cuaca, sistem struktur pondasi Kalang pada rumah tradisional Banjar tersebut merupakan obyek struktur yang sangat berharga untuk dikaji lebih mendalam tentang kekuatan, efisiensi dan efektifitasnya.

Iskandar (2000) dan Heldiansyah (2014) menganalisis daya dukung maksimal dari pondasi Kacapuri, dimana pondasi Kacapuri merupakan pengembangan dari pondasi Kalang. Sedangkan pondasi Kalang belum dibahas secara lebih mendalam, terutama dalam hal kekuatan dan ketahanannya.

Pengkajian ini meliputi: sistem struktur pondasi, elemen-elemen pondasi beserta ukurannya, dan perhitungan kekuatan elemen-elemen pondasi tersebut.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan melalui 5 (lima) tahapan, yaitu: identifikasi sistem struktur pondasi; elemen-elemen pondasi beserta bahan dan ukurannya, perumusan model untuk perhitungan struktur, perhitungan beban bangunan, perhitungan kekuatan elemen pondasi, penarikan kesimpulan faktor-faktor yang menjadi penyebab kekuatan struktur pondasi.

Identifikasi sistem struktur pondasi dan elemen-elemen pondasi beserta bahan dan ukurannya didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan terdahulu mengenai tipologi pondasi arsitektur tradisional Banjar oleh Huzairin (2021).

Sampel yang dipilih sebanyak 7 rumah, yang diambil dari tipe Bubungan Tinggi, Gajah Baliku, Gajah Manyusu, Balai Laki dan/atau Balai Bini. Tipe ini memiliki kesamaan dalam hal: bentuk denah, ukuran rumah dan bentuk atap.

Model rumah yang akan dijadikan model analisis dirancang berdasarkan: luasan sampel, jarak antar tiang pondasi, dimensi dan panjang serta jenis kayu elemen, posisi dan dimensi ruang-ruang, bentuk atap, struktur dan bahan lantai, struktur dan bahan dinding, serta struktur dan bahan atap.

Perhitungan beban dihitung pada setiap tiang pondasi rumah model, dimana dasar pembebanan adalah: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia 1961, Iskandar (2000), Data dan Grafik Sondir Tanah di Banjarmasin.

Perhitungan kekuatan elemen pondasi terdiri dari beberapa bagian, dengan rincian sebagai berikut:

- a. Tiang pondasi, yang diukur beban tekan maksimum dan beban tekuk kritis, dimana yang diambil dari 2 tolok ukur tersebut yang lebih kecil.

$$P_{maks} = f \cdot A$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

<p>P_m = Beban maksimal</p> <p>f = Tegangan tekan izin</p> <p>A = Luas penampang</p>	<p>P_{cr} = Beban kritis tekuk</p> <p>π = Konstanta pi=3,1416</p> <p>E = Modulus elastisitas</p> <p>I = Momen inersia</p> <p>L = Panjang kolom</p>
---	---

- b. Pancangan galam, yang diukur adalah kekuatan maksimumnya dalam menahan beban, dan juga batas kekuatannya dalam menahan beban yang bertumpu padanya (tegangan tumpu).

$$P_{maks} = f_s \cdot A \qquad f = \frac{P}{A}$$

<p>P_m = Beban maksimal f_s = Hambatan lekat A = Luas selubung</p>	<p>f = Tegangan tumpu P = Beban A = Luas penampang tumpuan</p>
---	---

- c. Sunduk, yang dihitung batas kekuatannya dalam menahan beban yang bertumpu padanya yang mengenai bagian tengahnya dengan menghitung batas tegangan lentur, tegangan geser dan tegangan tumpu.

$f = \frac{P}{A}$	$f_b = \frac{M \cdot c}{I}$	$f_v = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$
<p>f = Tegangan tumpu P = Beban A = Luas penampang tumpuan</p>	<p>f_b = Tegangan lentur f_v = Tegangan geser M = Momen luar c = Jarak tegangan yg ditinjau I = Momen inersia V = Gaya geser vertikal Q = Statitka momen b = Lebar yg ditinjau</p>	<p>f_v = Tegangan geser M = Momen luar c = Jarak tegangan yg ditinjau I = Momen inersia V = Gaya geser vertikal Q = Statitka momen b = Lebar yg ditinjau</p>

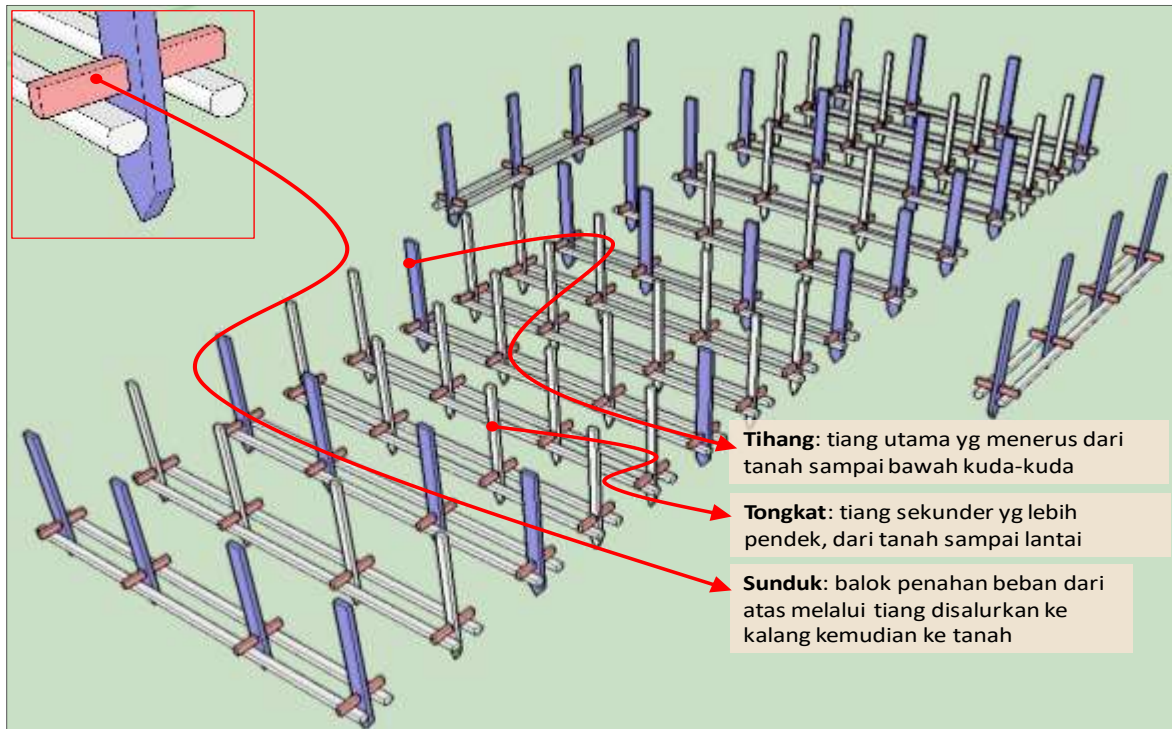
Penarikan kesimpulan didasarkan pada identifikasi sistem struktur dan perhitungan kekuatan elemen pondasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Sistem Struktur Pondasi Rumah Tradisional Banjar

Sistem struktur pondasi rumah tradisional Banjar terdiri dari 3 elemen, yaitu Tiang, Sunduk dan Kalang. Tiang dibedakan menjadi 2, yaitu Tihang dan Tongkat. Tihang adalah tiang atau kolom utama yang utuh menerus dari tanah sampai dengan bawah kuda-kuda, dimana panjangnya 5 m sampai dengan 7 m. Tongkat adalah tiang atau kolom sekunder yang lebih pendek, mulai dari tanah sampai balok lantai dengan panjang berkisar antara 2 m sampai dengan 3 m. Dimensi Tihang, Tongkat, Sunduk dan Lapak dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

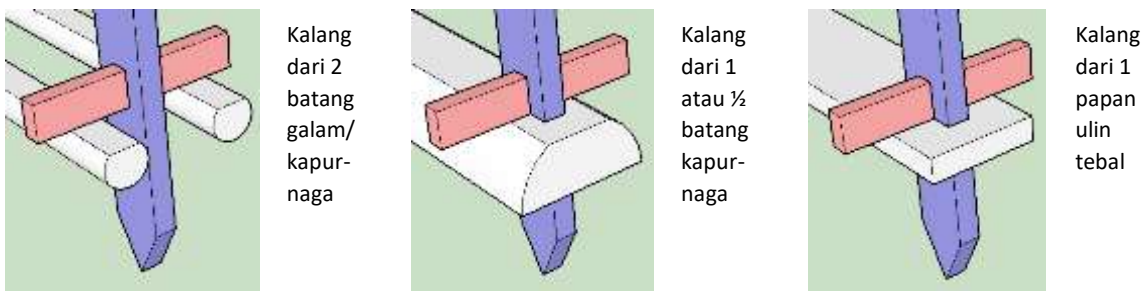
Berdasarkan Huzairin (2021) susunan pondasi selalu sama, Tihang dan Tongkat di bagian atas menyalurkan beban melalui Sunduk untuk diteruskan ke Kalang, dan selanjutnya Kalang menyalurkan semua beban ke tanah. Mengenai susunan tipikal sistem struktur pondasi rumah tradisional Banjar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk, posisi dan susunan Tiang/Tongkat, Sunduk dan Kalang.
Sumber: Huzairin, 2021

Posisi, arah pemasangan dan sambungan antar elemen sebagai berikut:

1. Pola susunan Tiang dan Tongkat:
 - Tiang dan Tongkat disusun dengan pola grid, dimana jarak antar tihang/ tongkat bervariasi antara 1,25-meter s/d 2,00 meter.
 - Tiang dan Tongkat disusun melintang terhadap arah memanjang atau membujur bangunan.
 - Tiang ditempatkan pada bagian tertentu yang menerima beban terbesar, yaitu: pada setiap pojok/sudut rumah, pada setiap pertemuan 2 dinding atau lebih, pada ruang bagian tengah (Anjung), dan pada bagian dinding terluar berjarak 2 sampai 3 grid.
2. Sunduk dipasang secara melintang terhadap Tiang atau Tongkat dengan sambungan turus dan lubang.
3. Kalang, merupakan elemen utama pondasi. Kalang artinya melintang, karena posisinya yang melintang (tegak lurus) terhadap arah membujur atau memanjang bangunan. Semua sampel menunjukkan susunan Kalang yang sama, kecuali pada area Anjung, dimana sebagian besar posisi Kalang membujur atau searah dengan arah memanjang bangunan. Indikasi posisi Kalang dapat dilihat dari arah susunan Tiang. Jika arah panjang dimensi Tiang disusun melintang terhadap arah membujur bangunan, maka arah pemasangan Kalang melintang terhadap arah membujur bangunan. Namun jika arah panjang dimensi Tiang disusun membujur terhadap arah membujur bangunan, maka arah pemasangan Kalang membujur pula terhadap arah membujur bangunan.



Gambar 2. Tiga macam bentuk Kalang.
Sumber: Huzairin, 2021

Tabel 1. Elemen pondasi, bahan dan dimensinya.

No	Lokasi Sampel	PONDASI				
		Jenis Pondasi	Arah Pondasi	Dimensi	Jenis Kayu	Sumber Informasi
1	Banjarmasin	Garis/kacapuri bulat	Melintang bangunan	Diameter 20-35cm	Kapurnaga	Identifikasi lapangan
2	Banjarmasin	Garis/kacapuri bulat	Melintang bangunan	Diameter 20-35cm	Kapurnaga	Identifikasi lapangan
3	Banjarmasin	Garis/kacapuri bulat	Melintang bangunan	Diameter 25cm	Kapurnaga	Wawancara
4	Banjarmasin	Garis/kacapuri bulat	Melintang bangunan	Diameter 25cm	Kapurnaga	Wawancara
5	Marabahan	Garis/kacapuri bulat	Melintang bangunan	Diameter 40cm	Kapurnaga	Wawancara
6	Marabahan	Garis/kacapuri bulat	Melintang bangunan	Diameter 40cm	Kapurnaga	Identifikasi lapangan
7	Martapura	Garis/kacapuri persegi	Melintang bangunan	Balok 7/25	Ulin	Identifikasi lapangan

No	Lokasi Sampel	KOLOM					SUNDUK	
		Dimensi Tihang	Dimensi Tongkat	Jenis Kayu	Jarak Kolom Arah Samping	Jarak Kolom Arah Belakang	Dimensi	Jenis Kayu
1	Banjarmasin	Segi empat 10/20	5/10 – 6/12	Ulin	1,25 – 2,00	1,25 – 1,80	Segi empat 5/10	Ulin
2	Banjarmasin	Segi empat 10/20	5/10 – 6/12	Ulin	1,25 – 2,00	1,25 – 1,80	Segi empat 5/10	Ulin
3	Banjarmasin	Segi empat 10/20	5/10 – 6/12	Ulin	1,25 – 2,00	1,25 – 1,80	Segi empat 5/10	Ulin
4	Banjarmasin	Segi empat 10/20	5/10 – 6/12	Ulin	1,25 – 2,00	1,25 – 1,80	Segi empat 5/10	Ulin
5	Marabahan	Segi empat 10/20	5/10 – 6/12	Ulin	1,25 – 1,35	1,25 – 1,80	Segi empat 5/10	Ulin
6	Marabahan	Segi empat 12/25	5/10 – 6/12	Ulin	1,25 – 1,35	1,25 – 1,80	Segi empat 7/15	Ulin
7	Martapura	Segi empat 12/25	5/10 – 6/12	Ulin	1,25 – 1,35	1,25 – 1,80	Segi empat 7/15	Ulin

Sumber: Huzairin, 2021

Dari pengamatan terhadap beberapa sampel yang berada di tanah rawa, pondasi kalang galam/kapurnaga selalu terendam sepanjang tahun. Dari pengamatan dari beberapa sampel, kondisi pondasi kalang tersebut dalam keadaan baik tanpa adanya pelapukan. Terendahnya suatu kayu secara sempurna akan menghindari pelapukan pada kayu tersebut.



Pondasi terendam saat musim hujan



Pondasi tetap terendam saat musim kemarau

Gambar 3. Pondasi yang selalu terendam sepanjang tahun.

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2021

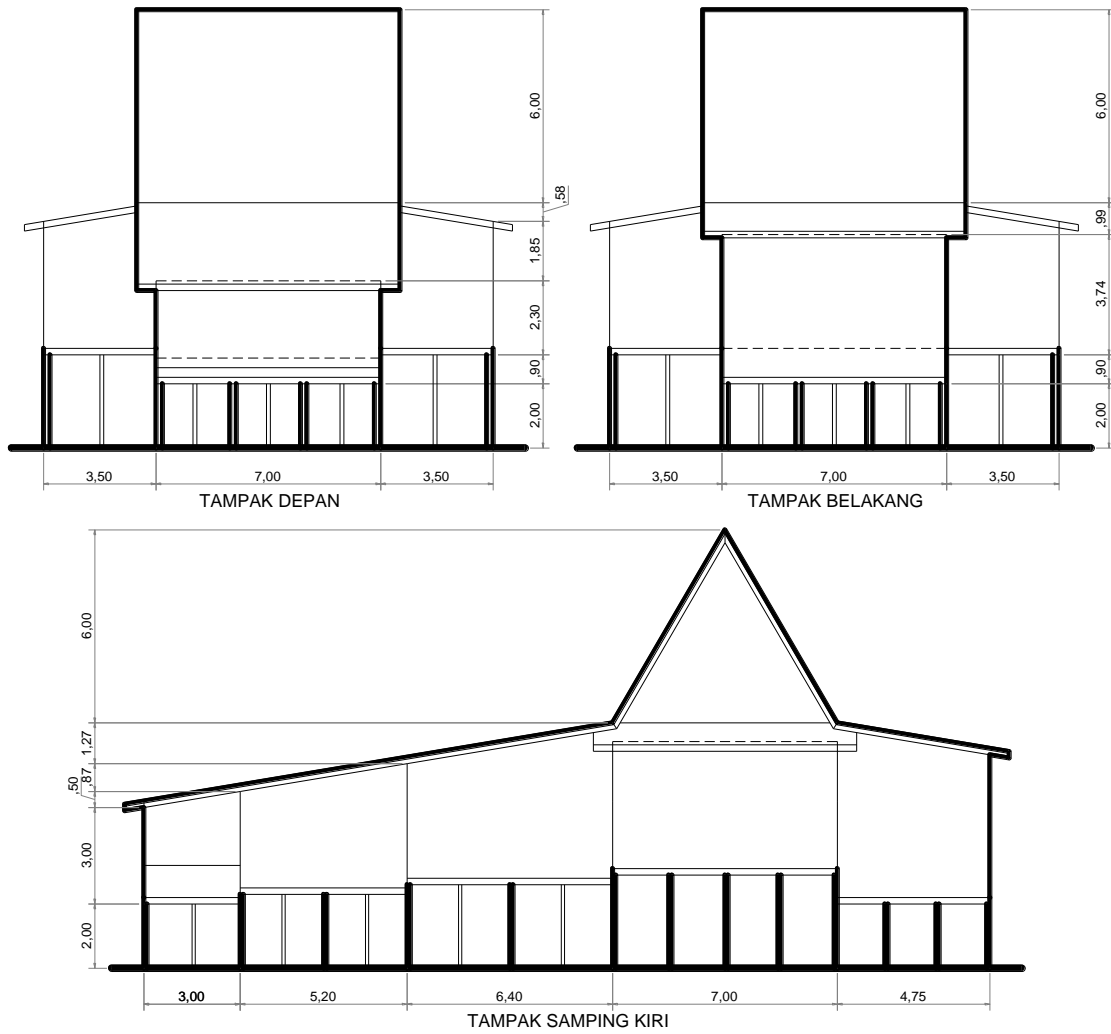
Seluruh sampel menunjukkan tidak adanya penurunan yang berarti dari struktur dan badan bangunan, dimana hal ini menunjukkan kekuatan daya dukung pondasi dalam menahan beban yang bekerja padanya atau beban dari seluruh bangunan.

Model Rumah untuk Analisis Struktur

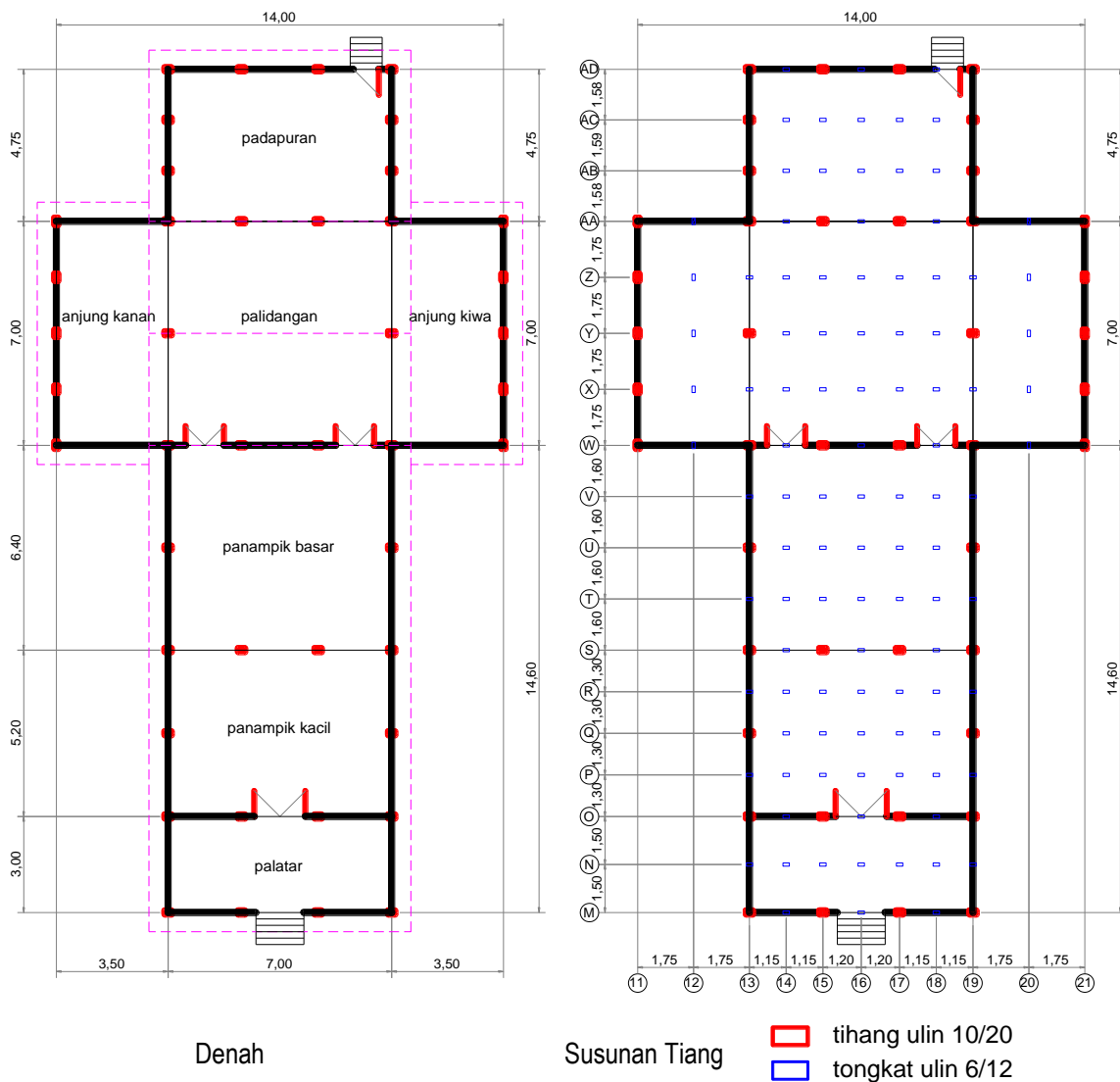
Untuk menghitung kekuatan masing-masing elemen, maka ditentukan 1 denah yang distribusi gayanya mewakili dari denah-denah sampel. Bentuk denah diambil dari 7 denah sampel rumah tradisional Banjar tipe Bubungan Tinggi, Gajah Baliku, Gajah Manyusu, Balai Laki dan/atau Balai Bini. Tipe ini memiliki kesamaan: bentuk denah, ukuran rumah dan bentuk atap.

Jenis, posisi dan dimensi ruang diambil yang paling mewakili semua sampel. Bentuk atap berupa pelana dengan kuda-kuda dari rangka kayu ulin serta penutup atap sirap. Dinding dari rangka kayu dengan penutup papan ulin, dan lantai dari rangka dan penutup lantai papan ulin.

Jarak antar Tihang/Tongkat bervariasi mulai dari 1,15 m sampai dengan 1,75 m tergantung posisinya, dimana Tihang berukuran 10/20, sedang Tongkat berukuran 6/12. Model denah, tampak dan susunan tiang untuk rumah model dapat dilihat pada gambar 3, 4 dan 5.



Gambar 4. Tampak rumah model.
Sumber: Analisis Penulis, 2021



Gambar 5. Denah dan Susunan tiang rumah model.

Sumber: Analisis Penulis, 2021

Analisis Perhitungan Kekuatan Pondasi Kalang Galam

Dalam analisis perhitungan ini ada beberapa dasar dan asumsi, yaitu:

- Dasar besaran beban diambil dari beberapa sumber. Untuk beban hidup, berat dinding, berat lantai dan berat atap diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.
- Berat jenis kayu meranti dan kayu ulin, modulus elastisitas, tegangan izin untuk lentur kayu, tegangan izin untuk tekanan sejajar dan tegak lurus serat kayu, dan tegangan izin untuk geser sejajar serat kayu, diambil dari Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia 1961 dan Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu SNI 7973-2013.
- Daya dukung dan hambatan lekat tanah didapatkan dari: tabel dan grafik sondir dari Laboratorium Mekanika Tanah ULM dan Iskandar (2000).
- Dalam perhitungan diasumsikan bahwa masing-masing tiang berdiri sendiri-sendiri, tanpa adanya ikatan antar tiang atau suai (*bracing*). Suai akan meningkatkan kekuatan (terutama kuat tekuk) dan mendistribusikan beban secara lebih merata. Namun pada rumah tradisional Banjar hampir semuanya tidak memakai suai.

- Ukuran kayu diasumsikan persis seperti yang ditetapkan, tidak kurang atau lebih sebagaimana ukuran di pasaran.
- Kualitas kayu diasumsikan dalam keadaan sempurna, tanpa ada cacat kayu ataupun retakan ataupun kekurangan lainnya yang terkadang ditemui di pasaran.

Tabel 2 dan 3 merupakan resume dari perhitungan kekuatan pondasi, berupa beban dan tegangan maksimal pada masing-masing elemen pondasi. Tiang yang hanya memikul beban lantai (tidak menumpu beban dinding dan atap) jumlahnya 102 buah, yang kita sebut *Tongkat*. Tiang yang memikul beban lantai, dinding dan atap serta panjangnya menerus sampai balok atas (*sampaian*) jumlahnya 44 buah, yang kita sebut *Tihang*.

Tabel 2. Kekuatan tiang dan daya dukung pondasi kalang galam.

no	tiang	berat total (kg)	kuat tekan tongkat beban maksimal (Pmaks=f.A) (kg)	kuat tekuk tongkat (kg)		pondasi galam	
				beban tekuk kritis arah b $P_{cr}=(\pi^2EI)/L^2$	beban tekuk kritis arah h $P_{cr}=(\pi^2EI)/L^2$	daya dukung pondasi galam (kg)	tegangan tumpu (f=P/A) (kg/cm ²)
1	Batas maks						15.00
2	Tongkat (102)						
A	Terendah	223.03	2,880.00	18,520.41	4,630.10	1,676.58	1.86
B	Tertinggi	596.68	2,880.00	18,520.41	4,630.10	1,676.58	4.97
3	Tihang (44)						
A	Terendah	457.39	8,000.00	285,808.77	71,452.19	1,676.58	3.81
B	Tertinggi	1,677.64	8,000.00	285,808.77	71,452.19	1,676.58	13.98

Sumber: Analisis Penulis, 2021

Dari tabel 1 terlihat bahwa pondasi galam yang berada pada Tongkat memiliki kemampuan daya dukung 1.676,58 kg, dimana semuanya lebih besar daripada beban yang bekerja pada Tongkat tersebut. Selisihnya berkisar antara 1.079,90 kg sampai dengan 1.453,55 kg. Selisih 1.079,90 kg tersebut dikarenakan beberapa Tongkat juga menahan beban dinding.

Tegangan tumpu pada galam ini berkisar antara 1,86 sampai dengan 4,97 kg/cm², dimana nilai ini masih cukup jauh di bawah tegangan izin tegak lurus serat yang sebesar 15,00 kg/cm².

Pondasi galam yang berada pada Tihang memiliki daya dukung sebesar 1.676,58 kg, dimana semuanya lebih besar daripada beban yang bekerja pada tiang tersebut, kecuali pada Tihang koordinat 15-W dan 17-W. Selisihnya berkisar antara -1,06 kg sampai dengan 1.219,19 kg. Beban pada tihang koordinat 15-W dan 17-W lebih 1,06 kg daripada daya dukung maksimal galam, dimana hal ini dikarenakan tiang pada titik-titik tersebut menahan juga beban kuda-kuda atap bubungan tinggi.

Tegangan tumpu pada galam ini berkisar antara 3,81 sampai dengan 13,98 kg/cm², dimana nilai ini masih di bawah tegangan izin tegak lurus serat yang sebesar 15,00 kg/cm².

Kekuatan tiang diukur dari kuat tekan dan kuat tekuk. Panjang efektif tiang 3,00 m. Dimensi tiang terdiri dari 2 kelompok, yaitu tiang 6/12 untuk Tongkat dan tiang 10/20 untuk Tihang. Dari hasil perhitungan didapatkan beban maksimal untuk tekuk jauh lebih besar daripada beban maksimal untuk tekan (kekuatan material), karenanya yang dijadikan patokan adalah kuat tekannya.

Kuat tekan maksimal Tihang 10/20 adalah 8.000 kg, sedangkan beban riil Tihang 10/20 yang terbesar adalah 1,677.64 kg, yang ternyata masih jauh di bawah batas beban maksimal. Perbandingan

antara beban riil terbesar dengan beban maksimal sebesar 0,21. Sedangkan beban riil terkecil dibandingkan dengan beban maksimal yang diizinkan sebesar 0,06.

Kuat tekan maksimal Tongkat 6/12 adalah 2.880 kg, dimana beban riil Tongkat 6/12 yang terbesar adalah 596.68 kg, yang masih di bawah batas beban maksimal yang diizinkan. Perbandingan antara beban riil terbesar dengan beban maksimal sebesar 0,21. Sedangkan beban riil terkecil dibandingkan dengan beban maksimal yang diizinkan sebesar 0,08.

Tabel 3. Tegangan sunduk.

No	tiang	berat total (kg)	tegangan sunduk (kg/cm ²)		
			tegangan lentur ($f=(My)/I$)	tegangan geser ($f=(3V)/(2bh)$)	tegangan tumpu ($f=P/A$)
1	Batas maks		150.00	20.00	40.00
2	Tongkat (102)				
A	Terendah	223.03	15.49	2.32	1.86
B	Tertinggi	596.68	41.44	6.22	4.97
3	Tihang (44)				
A	Terendah	457.39	31.76	4.76	3.81
B	Tertinggi	1,677.64	116.50	17.48	13.98

Sumber: Analisis Penulis, 2021

Dari tabel 3 sunduk yang menahan Tongkat tegangan lenturnya berkisar antara 15,49 kg/cm² sampai dengan 41,44 kg/cm², yang masih di bawah tegangan izin untuk lentur kayu ulin 150,00 kg/cm². Tegangan yang besar terjadi pada Tongkat yang menahan juga beban dinding.

Sedangkan tegangan gesernya berkisar antara 2,32 kg/cm² sampai dengan 6,22 kg/cm², yang masih di bawah tegangan izin untuk geser sejajar serat kayu ulin 20,00 kg/cm². Tegangan yang besar terjadi pada Tongkat yang menahan juga beban dinding.

Tegangan tumpu sunduk yang menahan Tongkat tersebut berkisar antara 1,86 kg/cm² sampai dengan 4,97 kg/cm², yang masih di bawah tegangan izin untuk tekan tegak lurus serat kayu ulin 40,00 kg/cm². Tegangan yang besar terjadi pada Tongkat yang menahan juga beban dinding.

Dari tabel 2 sunduk yang menahan Tihang tegangan lenturnya berkisar antara 31,76 kg/cm² sampai dengan 116,50 kg/cm², yang masih di bawah tegangan izin untuk lentur kayu ulin 150,00 kg/cm². Tegangan yang besar terjadi pada Tihang yang menahan juga beban kuda-kuda atap bubungan tinggi.

Tegangan gesernya berkisar antara 4,76 kg/cm² sampai dengan 17,48 kg/cm², yang masih di bawah tegangan izin untuk geser sejajar serat kayu ulin 20,00 kg/cm². Tegangan yang besar terjadi pada Tihang yang menahan juga beban kuda-kuda atap bubungan tinggi.

Tegangan tumpu sunduk yang menahan Tihang berkisar antara 3,81 kg/cm² sampai dengan 13,98 kg/cm², yang masih di bawah tegangan izin untuk tekan tegak lurus serat kayu ulin 40,00 kg/cm². Tegangan yang besar terjadi pada Tihang yang menahan juga beban kuda-kuda atap bubungan tinggi.

Ketahanan dan Kekuatan Pondasi Kalang Rumah Tradisional Banjar

Dari identifikasi awal sistem struktur pondasi rumah tradisional Banjar dan analisis perhitungan kekuatan pondasi kalang galam dari model rumah yang dibuat, dapat ditarik beberapa kesimpulan tentang pondasi rumah tradisional Banjar tersebut, sebagai berikut:

1. Sistem pondasi terdiri dari: tiang, sunduk dan pondasi kapurnaga/galam yang direbahkan. Pondasi kapurnaga/galam yang direbahkan umumnya disusun melintang terhadap arah memanjang bangunan, karenanya disebut pondasi kalang.

2. Pondasi kalang terdiri dari 3 pilihan pondasi kalang, yaitu yang terdiri dari: 2 batang kapurnaga/galam; 1 batang kapurnaga atau batang lain yang lebih besar; dan 1 keping papan ulin tebal. Untuk papan ulin tebal dibangun di tanah yang kering atau tanah yang tidak basah sepanjang tahun.
3. Tiang yang bahannya kayu ulin terdiri dari 2 macam, yaitu: Tihang yang merupakan tiang menerus dari tanah sampai ke balok atap atau di bawah kuda-kuda, dan Tongkat yang merupakan tiang yang panjangnya mulai tanah sampai balok lantai. Ukuran Tihang rata-rata 10/20 dan Tongkat rata-rata 6/12.
4. Sunduk dari bahan kayu ulin dengan ukuran rata-rata 6/12, tapi tidak ada yang kurang dari 5/10.
5. Rumah tradisional Banjar tidak menggunakan suai (bracing), dimana tugas suai ini dilakukan oleh rangkaian Tihang, Watun dan Penampik (Huzairin, 2020)
6. Pondasi kalang galam/ kapurnaga yang berada di tanah rawa terendam seluruhnya sepanjang tahun. Hal ini menghindari terjadinya pelapukan pondasi tersebut.
7. Kuat tekan dan kuat tekuk Tihang dan Tongkat jauh melebihi beban yang bekerja padanya. Karenanya sangat kuat menahan beban yang bekerja padanya.
8. Daya dukung pondasi kalang galam/ kapurnaga lebih besar dari beban yang bekerja padanya, kecuali pada beban terbesar pada Tihang koordinat 15-W dan 17-W yang melebihi daya dukung dengan selisih yang relatif kecil sebesar 1,06 kg. Karenanya (kecuali Tihang 15-W dan 17-W) pondasi kalang dapat menghindari penurunan struktur atau badan bangunan.
9. Sunduk memiliki ketahanan dan kekuatan dalam menahan beban yang bekerja padanya, dimana hal ini ditunjukkan oleh tegangan lentur, tegangan geser dan tegangan tumpunya yang cukup jauh di bawah tegangan izinnya.

4. Kesimpulan

Pondasi rumah tradisional Banjar teruji ketahanan dan kekuatannya yang dibuktikan oleh bertahannya rumah-rumah tradisional Banjar yang berusia lebih 100 tahun. Bahan elemen-elemen pondasi rumah tradisional Banjar dipilih secara arif menyesuaikan dengan fungsinya. Tihang, tongkat dan sunduk memerlukan kekuatan dan keawetan dibuat dari bahan kayu ulin. Pondasi kalang yang memerlukan bahan yang relatif ringan namun kuat menggunakan kayu kapurnaga atau galam. Dikarenakan keawetannya yang kurang maka kapurnaga atau galam ini ditempatkan selalu di bawah garis air terendah sehingga terhindar dari hubungan langsung dengan udara yang dapat menyebabkan pelapukan.

Dimensi elemen-elemen pondasinya ditentukan dengan ukuran yang relatif efisien, dimana dimensinya tidak terlalu kebesaran tetapi juga memadai untuk menahan beban yang bekerja padanya. Hal ini ditunjukkan dari perhitungan teoritis kekuatan elemen-elemen tersebut. Sistem pondasi yang direbahkan di atas tanah rawa (yang mengandalkan daya dukung tanah) dengan posisi melintang merupakan sistem yang efisien, hemat bahan, mudah dikerjakan, ramah lingkungan, namun sangat memadai dalam menahan beban yang bekerja padanya.

Pemilihan bahan dan sistem struktur bangunan mulai dari lantai, dinding sampai dengan atap menunjukkan kebijakan dalam hal menyesuaikan dengan kemampuan pondasi dan merupakan bahan yang bisa diperbaharui. Pondasi kalang rumah tradisional Banjar ini dapat dijadikan alternatif yang cukup menjanjikan untuk dikembangkan untuk rumah di tanah rawa. Untuk pengembangan lebih lanjut diperlukan suatu penelitian lanjutan untuk mengelaborasi pondasi kalang ini dan menyesuaikan dengan keadaan terkini, baik dalam hal sambungan struktur dan bahan-bahan terkini.

5. Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada Universitas Lambung Mangkurat melalui LPPM ULM yang telah memberikan kesempatan pendanaan pada penelitian ini. Terima kasih dan penghargaan juga kami sampaikan kepada seluruh anggota dan tim peneliti serta para nara sumber dan pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, sehingga terwujudnya hasil penelitian ini.

6. Daftar Acuan

- Badan Standardisasi Nasional Republik Indonesia (2013). *Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*. SNI 7973.
- Bondan, Amir Hasan (1953). *Suluh Sedjarah Kalimantan*. Banjarmasin: Penerbit Padjar.
- Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia (1961). *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*, NI-5 PKKI.
- Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*.
- Heldiansyah, J.C., Ma'ruf, M.A., Krasna W.A. (2014). *Inovasi Desain Pondasi Kacapuri di atas Tanah Gambut yang Distabilisasi*. LANTING Journal of Architecture, 3 (2), Februari 2014 (37-47) ISSN 2089-8916.
- Huzairin, M.D. (2020), *Tihang, Watun dan Penampik pada Arsitektur Tradisional Banjar*, Makalah dalam Seminar Struktur dalam Arsitektur 2020. <https://seminar.iplbi.or.id/prosiding-seminar-struktur-dalam-arsitektur/>, (118-121).
- Huzairin, M.D., Oktaviana, A. (2021). *Typology of Foundation in Banjar Traditional Architecture: The Solution for House Foundation in Swamp Land in Banjarmasin*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 780, 3rd International Seminar on Livable Space, 27 August 2020, Jakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/780/1/012024>
- Iskandar (2000). *Tinjauan Kapasitas Dukung Teoritis Fondasi Kacapuri*. INFO TEKNIK 1 (1), Desember 2000 (13 - 21).
- Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik ULM, *Data dan Grafik Sondir 3 Titik di Banjarmasin*, 2015-2016.
- Margono, B.A, Bwangoy, J.R.B, Potavop, P.V. and Hansen, M.C. (2014). *Mapping wetlands in Indonesia using Landsat and PALSAR data-sets and derived topographical indices*. Geo-spatial Information Science, 17 (1): 60–71. https://www.researchgate.net/publication/271928126_Mapping_wetlands_in_Indonesia_using_Landsat_and_PALSAR_data-sets_and_derived_topographical_indices
- Ramsar Convention on Wetlands. (2018). *Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People*. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat. <https://ramsar.org/document/global-wetland-outlook>
- Saleh, M. Idwar, (1983). *Sekelumit Mengenai Rumah-rumah Tradisional Banjar* (makalah seminar). Banjarmasin: Dinas PU Dati I Kal-Sel.
- Seman, S. dan Irhamna (2001). *Arsitektur Tradisional Banjar Kalimantan Selatan*. Banjarmasin, IAI Daerah Kal-Sel.
- Srihandayani S., Hakam A. Mera M. (2018). *Pondasi Super Ringan pada Tanah Lunak*. Makalah pada 5 th ACE Conference Padang 2018.
- Yudiawati, Y., dan Marzuki, A. (2008). *Pondasi Dangkal diatas Tanah Lunak dengan Perkuatan Cerucuk Galam Berdasarkan Percobaan Lapangan*. Jurnal INFO-TEKNIK, 9 (2), Desember 2008 (212-217)