

EKSPLORASI EFISIENSI ENERGI DAN TERMAL MATERIAL LOKAL BERKELANJUTAN: DASAR PENERAPAN ARSITEKTUR BIOKLIMATIK DI BANJARMASIN

Farah Hafizha

Dosen Prodi Teknik Arsitektur, Fakultas Sains, Teknologi dan Kesehatan,
Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Selatan
e-mail: farah.hafizha@unukase.ac.id

Annisa Yuniar

Dosen Prodi Teknik Arsitektur, Fakultas Sains, Teknologi dan Kesehatan,
Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Selatan

Nisa Raisa Shaleha

Dosen Prodi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Sains, Teknologi dan Kesehatan,
Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Selatan

ABSTRAK

Tingginya suhu udara, kelembapan, dan intensitas radiasi matahari sepanjang tahun menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi pendinginan pada bangunan, sehingga diperlukan strategi desain pasif berbasis kondisi iklim dan kearifan lokal. Penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi analisis kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif dilakukan melalui studi literatur dan observasi arsitektur vernakular Banjar untuk mengidentifikasi material lokal yang relevan. Pendekatan kuantitatif meliputi analisis data iklim lokal, pengujian karakteristik termal material melalui uji termogravimetri (TG) dan heat flow, pengukuran konduktivitas termal, serta simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material lokal seperti kayu ulin, bambu, dan kayu kelapa memiliki konduktivitas termal relatif rendah, berkisar antara 0,18–0,32 W/mK, serta stabilitas termal yang baik pada rentang suhu operasional iklim tropis lembap. Simulasi radiasi matahari menunjukkan bahwa orientasi dinding barat dan atap menerima intensitas radiasi tertinggi, dengan nilai mencapai 500–700 W/m², yang berpotensi meningkatkan beban panas bangunan. Penggunaan material kayu ulin sebagai elemen selubung dan shading berfungsi sebagai thermal buffer yang mampu menahan perpindahan panas secara konduksi dan menstabilkan suhu ruang dalam. Integrasi material lokal berkarakteristik termal baik dengan strategi desain bioklimatik pasif berpotensi menurunkan beban panas bangunan dan mengurangi kebutuhan pendinginan aktif. Hal ini menegaskan bahwa material lokal berbasis kearifan tradisional dapat menjadi dasar perumusan strategi arsitektur bioklimatik hemat energi yang kontekstual dan berkelanjutan di wilayah tropis lembap seperti Banjarmasin.

Kata kunci: *Arsitektur Bioklimatik; Efisiensi Energi; Kearifan Lokal; Material Berkelanjutan; Termal Material*

ABSTRACT

High air temperature, humidity, and year-round solar radiation intensity lead to increased cooling energy demand in buildings, highlighting the need for passive design strategies based on local climatic conditions and traditional knowledge. This study employs a combined qualitative and quantitative approach. The qualitative approach involves a literature review and observation of Banjar vernacular architecture to identify relevant local materials. The quantitative approach includes analysis of local climate data, evaluation of material thermal characteristics through thermogravimetric (TG) and heat flow tests, measurement of thermal conductivity, and simulation analysis. The results indicate that local materials such as ulin wood, bamboo, and coconut wood exhibit relatively low thermal conductivity, ranging from 0.18 to 0.32 W/mK, along with good thermal stability within the operational temperature range of humid tropical climates. Solar radiation simulations reveal that west-facing walls and roof surfaces receive the highest radiation intensity, reaching 500–700 W/m², which significantly contributes to building heat gain. The use of ulin wood as an envelope and shading material functions as a thermal buffer that effectively limits conductive heat transfer and stabilizes indoor temperatures. The integration of thermally efficient local materials with passive bioclimatic design strategies has the potential to reduce building heat loads and decrease reliance on active cooling systems. These findings confirm that local materials rooted in traditional knowledge can serve as a robust foundation for developing context-responsive and energy-efficient bioclimatic architectural strategies in humid tropical regions such as Banjarmasin.

Keywords: *Bioclimatic Architecture; Energy Efficiency; Local Wisdom; Sustainable Materials; Thermal Properties*

1. PENDAHULUAN

Kota Banjarmasin memiliki karakter iklim tropis lembap dengan suhu udara tinggi, kelembapan relatif yang stabil sepanjang tahun, serta intensitas radiasi matahari yang signifikan. Kondisi ini berimplikasi langsung terhadap meningkatnya kebutuhan energi pendinginan bangunan, terutama pada sektor hunian dan bangunan publik. Seiring dengan isu perubahan iklim dan krisis energi global, pendekatan arsitektur berkelanjutan berbasis efisiensi energi menjadi semakin relevan untuk diterapkan pada konteks perkotaan tropis.

Meningkatnya kebutuhan energi pada bangunan di Banjarmasin mendorong pentingnya upaya konservasi energi. Di sisi lain, perubahan iklim turut mempertegas urgensi pengembangan arsitektur berkelanjutan di Banjarmasin (Supar dkk., 2022). Menurut Hafizha (2025), sebagai daerah beriklim tropis lembap, Kota Banjarmasin membutuhkan penerapan strategi arsitektur bioklimatik guna meningkatkan efisiensi energi serta kenyamanan termal bangunan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan dan merupakan urgensi penelitian ini adalah pemanfaatan material lokal yang memiliki karakteristik termal dan ekologis yang dapat dijadikan dasar penerapan desain arsitektur bioklimatik di Banjarmasin.

Arsitektur bioklimatik merupakan pendekatan desain yang menempatkan iklim lokal sebagai dasar perancangan bangunan melalui pemanfaatan strategi pasif, seperti ventilasi alami, pengendalian radiasi matahari, orientasi bangunan, serta pemilihan material yang sesuai (Hafizha, 2025). Dalam konteks wilayah tropis lembap, strategi tersebut berpotensi menurunkan beban panas bangunan dan mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin aktif. Berkaitan dengan kemandirian energi dalam mengurangi kebutuhan energi untuk produksi dan transportasi material bangunan, serta mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin buatan (Semassou dkk., 2021). Nugroho (dalam Desogus, et al., 2016) menyatakan bahwa bangunan bioklimatik merupakan wujud pembangunan berkelanjutan yang sumber inspirasinya didasarkan pada arsitektur vernakular dalam menciptakan kondisi nyaman secara alami. Nugroho (dalam Nguyen dan Reiter, 2017) menemukan asal-usul desain bioklimatik dalam arsitektur dapat ditelusuri pada prinsip desain yang diterapkan di bangunan vernakular yang berkembang seiring waktu, mencerminkan konteks lingkungan, budaya, teknologi dan sejarah pada lokasi tertentu.

Salah satu aspek penting dalam arsitektur bioklimatik adalah pemanfaatan material lokal berkelanjutan. Material lokal tidak hanya berkontribusi pada pengurangan jejak karbon akibat transportasi dan produksi, tetapi juga sering kali memiliki karakteristik termal yang adaptif terhadap iklim setempat, sebagaimana tercermin dalam arsitektur vernakular. Di Kalimantan Selatan, material seperti kayu ulin, bambu, kayu kelapa, dan galam telah lama digunakan dalam bangunan tradisional Banjar yang terbukti mampu memberikan kenyamanan termal secara alami.

Berbagai penelitian tentang penggunaan material lokal dan teknik konstruksi tradisional arsitektur vernakular, serta keberlanjutan dan efisiensi energi, telah dilakukan oleh beberapa peneliti lain diantaranya; (Monetti dkk., 2015) menekankan keuntungan menggunakan bahan lokal, pengurangan biaya konstruksi dan peningkatan efisiensi energi, terutama di daerah kering dimana tanah mentah dan batu bata adobe membantu menjaga suhu interior yang lebih dingin; (Tomrukcu dkk., 2024) panel ringan dari produk sampingan pertanian,

hususnya serat kelapa dan sedotan padi, dioptimalkan untuk proporsi campuran dan pengaturan internal setelah pra-perawatan dengan polietilen glikol, studi ini menekankan pentingnya memilih bahan berbasis pertanian yang tepat untuk meminimalkan emisi karbon, menyoroti peran penting praktik konstruksi bioklimatik dalam pembangunan berkelanjutan; (Dowou dkk., 2025) jerami gandum, wol domba, rami, dan selulosa adalah alternatif yang layak untuk bahan bangunan konvensional karena sifatnya yang ramah lingkungan; (Ahmed dkk., 2023) potensi konstruksi berkelanjutan dari evaluasi karakteristik, ketersediaan dan dampak lingkungan terdapat pada bahan rendah karbon berbasis bio: kayu, batako, tanah yang ditabrak, tongkol, tanah, tanah, jerami, bambu, dan bal jerami; (Hu dkk., 2023) selubung bangunan komposit berbasis bio dari serat kelapa dan sekam jagung secara signifikan mengurangi transmisi panas dan konsumsi energi di bangunan; (Bhudi dkk., 2024) keberhasilan integrasi bahan berkelanjutan seperti bambu, kayu, tanah yang ditabrak, dan adobe dalam arsitektur vernakular, efektif untuk konstruksi berkelanjutan.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas arsitektur vernakular dan prinsip bioklimatik di wilayah tropis, namun kajian yang secara spesifik mengintegrasikan karakteristik termal material lokal, analisis kuantitatif, dan simulasi energi dalam konteks Banjarmasin masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik termal material lokal berkelanjutan serta implikasinya terhadap efisiensi energi bangunan sebagai dasar penerapan arsitektur bioklimatik di Kota Banjarmasin.

Penelitian ini merupakan kelanjutan riset mengenai arsitektur bioklimatik di Banjarmasin yang berakar kuat pada kearifan lokal, bangunan vernakular yang menggabungkan elemen desain yang merespons iklim panas-lembap (Hafizha dkk., 2023), serta riset strategi desain arsitektur bioklimatik di Banjarmasin (Hafizha, 2025). Namun sejauh ini, belum terdapat penelitian yang secara khusus membahas apa saja material lokal yang ada di Banjarmasin, serta seberapa efisien material lokal tersebut agar dapat berpotensi sebagai material lokal berkelanjutan yang dapat dijadikan konsep dasar dalam desain arsitektur bioklimatik di Banjarmasin, sehingga hal tersebut menjadi kebaruan dari penelitian ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Berkelanjutan dalam Arsitektur

Material berkelanjutan merupakan material yang memiliki dampak lingkungan rendah sepanjang siklus hidupnya, mulai dari ekstraksi, produksi, penggunaan, hingga akhir masa pakai. Dalam konteks bangunan, pemilihan material berkelanjutan berkontribusi signifikan terhadap efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Material berbasis bio, seperti kayu dan bambu, memiliki konduktivitas termal rendah dan kapasitas panas yang mendukung stabilitas suhu ruang. Muliani dan Munandar (2022) menyoroti pentingnya aspek material dalam sustainable design, di mana pemilihan material menjadi

faktor prioritas dalam mewujudkan desain bangunan yang berkelanjutan. Menurut kajian mereka, sektor konstruksi berkontribusi besar terhadap pemanasan global dan konsumsi sumber daya alam hingga 50%. Oleh karena itu, konsep *Green Building Council* Indonesia (GBCI) menekankan siklus hidup material bangunan (*building material life cycle*) sebagai dasar regulasi desain berkelanjutan. Kajian ini relevan untuk konteks penggunaan material lokal di Kalimantan Selatan, di mana material alami seperti kayu ulin, bambu, dan tanah liat memiliki potensi untuk menjadi komponen utama dalam desain hemat energi.

2.2. Prinsip Arsitektur Bioklimatik dan Efisiensi Energi

Arsitektur bioklimatik menekankan hubungan harmonis antara bangunan, iklim, dan pengguna. Penerapan strategi pasif bioklimatik dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi energi bangunan hingga lebih dari 30%, terutama melalui pengurangan beban pendinginan. Prinsip utama meliputi orientasi bangunan, pengendalian radiasi matahari, ventilasi alami, dan penggunaan material berinsulasi baik. Menurut Bajcinovci dan Jerliu (2016), penerapan prinsip arsitektur bioklimatik dapat meningkatkan efisiensi energi hingga sekitar 33%, terutama melalui pendekatan pasif dan rekonstruksi ramah lingkungan yang berdampak rendah terhadap lingkungan. Desain bioklimatik berperan penting dalam menciptakan hubungan harmonis antara alam, arsitektur, dan masyarakat, sehingga menciptakan kondisi hunian yang lebih sehat dan efisien energi.

2.3. Pendekatan Bioklimatik dalam Konteks Vernakular

Bera dan Nag (2022) menjelaskan bahwa desain bioklimatik pada rumah pedesaan berbiaya rendah di wilayah pesisir India dapat meningkatkan kenyamanan termal tahunan dengan menerapkan strategi pasif seperti sun shading, ventilasi alami, massa termal tinggi, serta pendinginan evaporatif. Mereka menemukan bahwa kombinasi strategi ini mampu menambah jam kenyamanan termal hingga 69% dari total waktu tahunan. Bangunan vernakular di wilayah tropis lembap berkembang sebagai hasil adaptasi jangka panjang terhadap kondisi iklim dan lingkungan. Rumah tradisional Banjar, seperti Rumah Gajah Baliku, menerapkan konsep rumah panggung, atap tinggi, teritisan lebar, serta material kayu yang berfungsi sebagai elemen pasif pengendali panas dan kelembapan. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemahaman iklim lokal dan perilaku pengguna dalam merancang hunian yang efisien energi. Pendekatan serupa diterapkan di Kalimantan Selatan dengan memperhatikan karakter iklim tropis lembap dan tradisi bangunan lokal Banjar.

2.4. Rumah Adat Banjar Gajah Baliku

Farah (2023) menjelaskan Rumah Gajah Baliku lebih muda usianya dibandingkan dengan rumah adat Bubungan Tinggi dengan ciri-ciri (1) Bentuk bangunan induk memanjang ke depan dan ditopang oleh tiang-tiang tinggi, dapat dilihat pada gambar 4 dan 5. (2) Ruangan yang menempel di sisi kanan

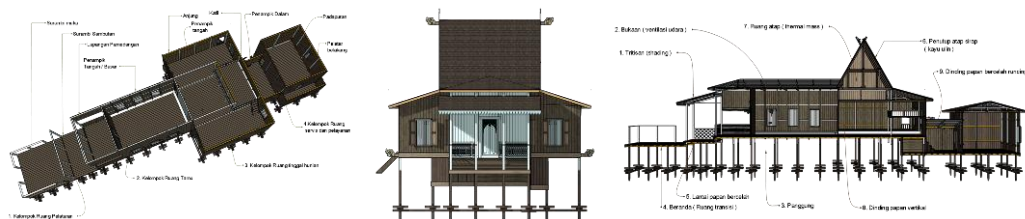
dan kiri, terletak sedikit ke belakang disebut Anjung Kanan dan Anjung Kiwa yang memiliki konstruksi pisang sasikat, dapat dilihat pada gambar 2 dan 3. (3) Bubungan atap yang lancip dan tinggi sama seperti atap rumah Bubungan Tinggi, dapat dilihat pada gambar 1, 4 dan 5. (4) Bubungan pada atap mengarah ke depan dengan bentuk pelana dan pada ujung depan atap berbentuk limas atau piramida, dapat dilihat pada gambar 4 dan 5. (5) Jurai atap pada Anjung Kiwa dan Anjung Kanan mengarah ke bawah sebagai teritisan, dapat dilihat pada gambar 1. (6) Terdapat serambi depan (Palatar) yang ditopang oleh empat tiang yang bertumpu pada tanah. Disebut Gajah Baliku karena struktur jambul depannya menyerupai kepala gajah, dapat dilihat pada gambar 4 dan 5. (7) Mirip dengan struktur atap rumah Bubungan Tinggi, pada bubungan belakang atap Gajah Baliku sedikit banyak diturunkan, dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar. 1

Material kayu ulin pada rumah adat Banjar Gajah Baliku di Martapura

Sumber: Farah Hafizha, 2022



Gambar. 2

Denah, potongan dan tampak rumah adat Banjar Gajah Baliku

Sumber: Farah Hafizha, 2022

2.5. Kondisi Iklim di Banjarmasin



Gambar. 3
Alat weather station di Banjarmasin
Sumber: dokumentasi penulis, 2025

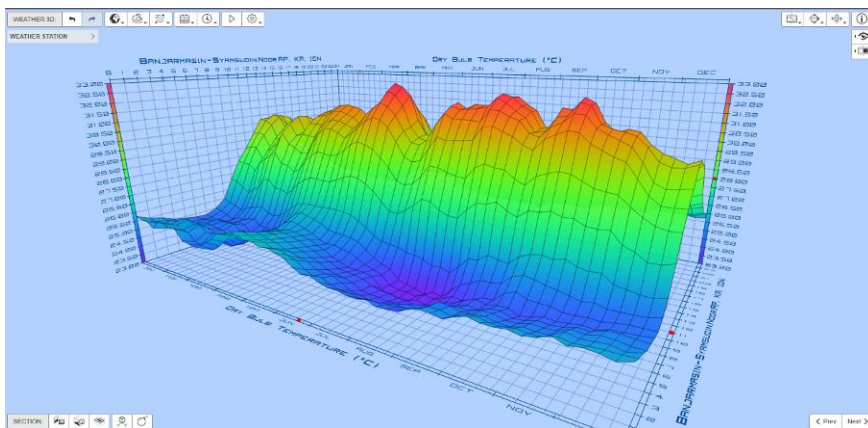
Berdasarkan data pengukuran iklim menggunakan *weather station*, rerata suhu udara luar tercatat sebesar 28,01 °C, sedangkan rerata suhu ruang dalam mencapai 28,99 °C. Selisih suhu sebesar ± 1 °C menunjukkan bahwa ruang dalam bangunan cenderung mengalami akumulasi panas, yang mengindikasikan perlunya optimalisasi strategi desain bioklimatik pasif, khususnya pada pengendalian radiasi matahari, ventilasi alami, dan pemilihan material selubung bangunan.



Gambar. 4
Ecowitt weather di Kota Banjarmasin
Sumber: dokumentasi penulis, 2025

Gambar 5 menampilkan grafik 3D data iklim Banjarmasin (Syamsudin Noor Airport) yang diambil dari *Weather Data Viewer*, dengan variabel utama *Dry Bulb Temperature* (°C) — yaitu suhu udara kering aktual yang menjadi indikator utama kenyamanan termal dan kebutuhan energi pendinginan. Berdasarkan visualisasi data iklim tiga dimensi (*dry bulb temperature*), suhu udara Kota Banjarmasin relatif tinggi dan stabil sepanjang tahun dengan kisaran sekitar 24–33°C, serta rerata tahunan sekitar 28–29°C, yang mencerminkan karakter iklim tropis lembap. Puncak suhu terjadi pada bulan Mei–Oktober, ditandai area merah-oranye, menunjukkan intensitas radiasi

matahari tinggi dan periode kering. Periode terendah terjadi sekitar Desember–Februari, dengan suhu lebih sejuk (biru-hijau), sejalan dengan musim hujan dan kelembapan tinggi. Pola grafik yang relatif “tinggi dan tebal” sepanjang tahun menandakan iklim tropis lembap yang stabil, dengan amplitudo suhu harian yang kecil (hanya $\pm 4\text{--}6^\circ\text{C}$). berdasarkan data tersebut, Banjarmasin memiliki suhu udara tinggi dan stabil sepanjang tahun, menunjukkan potensi besar penerapan strategi arsitektur bioklimatik pasif, seperti ventilasi silang alami, penggunaan material berinsulasi baik (kayu, bambu, daun rumbia), dan orientasi bangunan yang meminimalkan paparan langsung terhadap radiasi matahari.



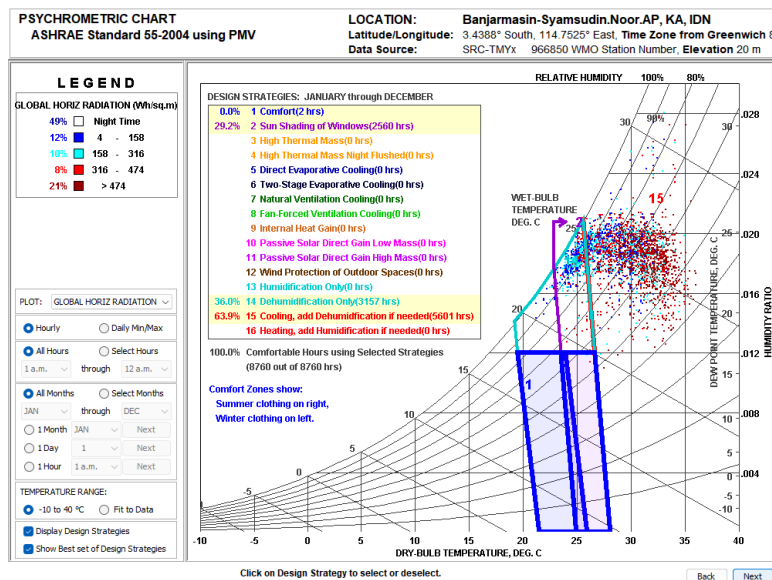
Gambar. 5
Data cuaca kota Banjarmasin tahun 2009-2023
Sumber: Weather Station Data Viewer diolah, 2025

2.6. Strategi Arsitektur Bioklimatik di Banjarmasin

Berdasarkan ASHRAE *Standard* 55-2004 dan analisis PMV (*Predicted Mean Vote*), terdapat beberapa rekomendasi strategi desain arsitektur bioklimatik pada kondisi iklim di Banjarmasin agar bangunan tetap nyaman 100% sepanjang tahun tanpa pendingin aktif berlebihan. Berikut urutan prioritas dari yang paling penting

- Bangunan ringan dengan ventilasi alami dan ruang terbuka — menggunakan dinding ringan, bukaan besar, dan area teduh terbuka untuk sirkulasi udara.
- Gunakan tanaman peneduh (vegetasi lokal) untuk mengurangi panas dan kelembapan, serta menciptakan mikroklimat sejuk.
- Overhang dan kanopi lebar di atas jendela untuk mencegah radiasi matahari langsung.
- Ventilasi silang alami dan atap berventilasi untuk mengurangi kebutuhan pendingin mekanis.
- Gunakan warna terang dan material reflektif (atap mengkilap, dinding berwarna terang) untuk meminimalkan serapan panas.
- Gunakan material lokal berinsulasi baik seperti bata tanah liat, kayu, atau bambu untuk mengatur suhu ruang.

- Tata letak bangunan memanjang utara–selatan agar sinar matahari langsung dapat dikendalikan.
- Gunakan ruang semi terbuka seperti veranda atau patio untuk aktivitas luar ruangan yang tetap nyaman.
- Gunakan kipas langit-langit atau aliran udara alami untuk menambah kenyamanan tanpa AC.
- Bangunan panggung rendah di atas tanah lembap untuk menghindari kelembapan dan memaksimalkan ventilasi bawah.



Gambar. 6
Psychrometric chart lokasi di kota Banjarmasin
Sumber: Hafizha, 2025

DESIGN GUIDELINES (for the Full Year) ASHRAE Standard 55-2004 using PMV Best Set of Design Strategies, User Modified Criteria		LOCATION: Banjarmasin-Syamsudin.Noor.AP, KA, IDN Latitude/Longitude: 3.4388° South, 114.7525° East, Time Zone from Greenwich 8 Data Source: SRC-TMYx 966850 WMO Station Number, Elevation 20 m
Assuming only the Design Strategies that were selected on the Psychrometric Chart, 100.0% of the hours will be Comfortable. This list of Non-Residential Design guidelines applies specifically to this particular climate, starting with the most important first. Click on a Guideline to link to the 2030 Palette for related passive design ideas (see Help).		
68	Climate responsive buildings in hot humid climates used tight weight construction with openable walls and shaded outdoor areas, raised above ground	2030
65	Climate responsive buildings in warm humid climates used high ceilings and tall operable (French) windows protected by deep overhangs and verandahs	2030
59	In this climate air conditioning will always be needed, but can be greatly reduced if building design minimizes overheating	2030
37	Window overhangs (designed for this latitude) or operable sunshades (awnings that extend in summer) can reduce or eliminate air conditioning	2030
38	Raise the indoor comfort thermostat setpoint to reduce air conditioning energy consumption (especially if occupants wear seasonally appropriate clothing)	
17	Use plant materials (bushes, trees, ivy-covered walls) especially on the west to minimize heat gain (if summer rains support native plant growth)	2030
32	Minimize or eliminate west-facing glazing to reduce summer and fall afternoon heat gain	2030
30	High performance glazing on all orientations should prove cost effective (Low-E, insulated frames) in hot clear summers or dark overcast winters	
56	Screened occupancy areas and patios can provide passive comfort cooling by ventilation in warm weather and can prevent insect problems	
57	Orient most of the glass to the south, shaded by vertical fins, in very hot climates, because there are essentially no passive solar needs	2030
26	A radiant barrier (shiny foil) will help reduce radiated heat gain through the roof in hot climates	
46	High Efficiency air conditioner or heat pump (at least Energy Star) should prove cost effective in this climate	
25	In wet climates well ventilated pitched roofs work well to shed rain and can be extended to protect entries, porches, and outdoor work areas	2030
27	If soil is moist, raise the building high above ground to minimize dampness and maximize natural ventilation underneath the building	
18	Keep the building small (right-sized) because excessive floor area wastes heating, cooling, and lighting energy	
33	Long narrow building floorplan can help maximize cross ventilation in temperate and hot humid climates	2030
35	Good natural ventilation can reduce or eliminate air conditioning in warm weather, if windows are well shaded and oriented to prevailing breezes	2030
43	Use light colored building materials and cool roofs (with high emissivity) to minimize conducted heat gain	2030
42	On hot days ceiling fans or indoor air motion can make it seem cooler by 5 degrees F (2.8C) or more, thus less air conditioning is needed	
53	Shaded outdoor buffer zones (porch, patio) oriented to the prevailing breezes can extend occupancy spaces in warm or humid weather	2030

Gambar. 7
Design guidelines untuk lokasi di kota Banjarmasin
 Sumber: Hafizha, 2025

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode campuran (*mixed methods*), yang mengkombinasikan pengumpulan dan analisis data kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif dilakukan melalui studi literatur dan observasi arsitektur vernakular Banjar untuk mengidentifikasi jenis material lokal dan strategi desain pasif yang relevan dengan iklim tropis lembap. Observasi lapangan difokuskan pada rumah panggung tradisional dan bangunan berbasis kayu di wilayah Banjarmasin dan sekitarnya (rumah lanting, rumah panggung) (Afdholy dkk., 2024) untuk mengidentifikasi material lokal (Huzairin dkk., 2022).

Pendekatan kuantitatif meliputi analisis data iklim Kota Banjarmasin (suhu udara, kelembapan, dan radiasi matahari) (Hafizha, 2025) dan uji *heat flow* dalam penelitian ini merujuk pada analisis aliran panas diferensial yang dilakukan bersamaan dengan uji TG. Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi stabilitas termal dan potensi material dalam mengurangi perpindahan panas. Data ini penting sebagai dasar perancangan arsitektur bioklimatik.

Selanjutnya, simulasi radiasi matahari dilakukan menggunakan *Autodesk Ecotect Analysis* 2011 untuk mengidentifikasi distribusi dan intensitas radiasi pada elemen bangunan, khususnya dinding dan atap. Hasil simulasi digunakan untuk mengkaji implikasi pemilihan material lokal terhadap pengendalian beban panas bangunan secara pasif. Hasil uji TG dan *Heat Flow* juga digunakan untuk mengevaluasi stabilitas termal material pada rentang suhu operasional iklim tropis lembap. Selanjutnya, nilai-nilai tersebut dimasukkan sebagai parameter

material dalam simulasi radiasi matahari menggunakan *Autodesk Ecotect Analysis* 2011 untuk mengkaji implikasinya terhadap potensi beban panas bangunan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa contoh material lokal dan sifat termalnya yang relevan diantaranya; 1) Kayu, sebagai bahan utama arsitektur vernakular Banjar, kayu memiliki konduktivitas termal yang rendah, menjadikannya efektif dalam mengurangi perpindahan panas melalui konduksi; 2) Bambu, material yang kuat, ringan, dan tahan gempa, sangat potensial untuk konstruksi berkelanjutan. Penelitian menunjukkan bambu memiliki sifat insulasi termal yang baik; 3) Tanah liat/ bata tanah, mudah diolah dan berkelanjutan. Material dengan massa termal tinggi seperti tanah liat (adobe) mampu menyerap dan melepaskan panas secara perlahan, membantu menstabilkan suhu dalam ruangan dan mengurangi fluktuasi suhu harian; 4) Serat alami (serat kelapa, sekam jagung, serat pisang, jerami), berbagai penelitian menunjukkan potensi serat alami sebagai bahan insulasi termal yang signifikan, mampu mengurangi suhu dalam ruangan dan menghemat energi. 5) Material reflektif, penggunaan cat reflektif atau material atap dengan reflektivitas (*albedo*) dan emisivitas tinggi sangat krusial di iklim panas. Material ini mampu memantulkan radiasi matahari dan memancarkan panas yang diserap, secara dramatis menurunkan suhu permukaan atap dan mengurangi beban pendinginan.

4.1 Eksplorasi Material Kayu



Gambar. 8

Material kayu ulin, sirap ulin, meranti, galam dan bambu

Sumber: dokumentasi penulis, 2025

Tabel 1. Eksplorasi material kayu

Material	Ciri khas	Penggunaan	Efisiensi termal	Foto
----------	-----------	------------	------------------	------

Kayu Ulin (<i>Eusideroxylo n zwageri</i>) Nama lokal: Kayu besi	Memiliki kepadatan sangat tinggi (0,9–1,2 g/cm ³), tekstur halus, warna cokelat kehitaman yang semakin gelap seiring usia. Tahan air, tahan rayap, dan sangat awet bahkan jika terendam air atau tertanam di tanah.	Digunakan sebagai struktur utama rumah tradisional Banjar, seperti tiang, lantai, dinding, tangga, dan atap. Umumnya dipakai pada pondasi rumah panggung dan jembatan kayu di daerah rawa.	Memiliki konduktivitas panas rendah (0,18–0,22 W/mK) karena kepadatan tinggi dan serat padat yang mampu menahan perpindahan panas. Mampu menjaga stabilitas suhu ruang di siang hari dan malam hari. Berfungsi baik sebagai penyerap panas lambat sehingga cocok untuk iklim panas-lembap.	
Kayu Galam (<i>Melaleuca spp.</i>)	Tekstur keras namun seratnya agak kasar. Warna cokelat keabu-abuan dengan aroma khas minyak atsiri. Tumbuh cepat dan mudah diperbarui, banyak ditemukan di daerah rawa dan gambut.	Digunakan untuk pondasi ringan, tiang rumah panggung, pagar, dan struktur non-permanen. Di beberapa wilayah pedesaan, digunakan juga sebagai bahan bakar tradisional dan bahan bangunan sementara.	Konduktivitas panas sedang (sekitar 0,20–0,25 W/mK). Cocok untuk dinding sekunder dan elemen interior, terutama bila digabung dengan insulasi alami seperti serat bambu atau papan serat. Sifatnya menyerap dan melepaskan panas lebih cepat dibanding ulin, membantu menjaga sirkulasi udara di dalam bangunan.	
Bambu (<i>Bambusa spp.</i> , <i>Gigantochloa spp.</i>)	Struktur berongga dan berserat panjang dengan kekuatan tarik tinggi. Ringan, lentur, dan mudah dibentuk.	Dinding anyaman (palupuh, bilik), langit-langit, lantai panggung, dan rangka ringan rumah tradisional Banjar. Digunakan pula untuk elemen ventilasi alami, pagar, dan penutup atap sementara.	Memiliki konduktivitas panas rendah (sekitar 0,17–0,20 W/mK) karena rongga udara di dalam batangnya berfungsi sebagai insulasi alami. Dapat menurunkan suhu ruang dalam hingga 2–3°C dibandingkan dinding bata tanpa ventilasi. Sangat baik untuk peredaman panas, fleksibel dan ringan. Memungkinkan sirkulasi udara yang baik, cocok untuk rumah tropis	

Kayu meranti (<i>Shorea spp.</i>)	Serat kayu lurus atau sedikit bergelombang, tekstur halus hingga sedang. Warna coklat muda hingga kemerahan.	Umum digunakan dalam konstruksi ringan seperti dinding, plafon, daun pintu, furnitur, dan rangka atap.	Memiliki konduktivitas panas rendah (sekitar 0,16–0,21 W/mK), tergolong baik untuk material isolasi alami. Dapat membantu menstabilkan suhu dalam ruangan, terutama bila dikombinasikan dengan ventilasi silang.	
Kayu pohon kelapa (<i>Cocos nucifera L.</i>)	Berasal dari batang pohon kelapa yang telah berumur >60 tahun. Serat lurus dengan struktur berserat keras di bagian luar (kulit batang) dan lebih lunak di bagian dalam. Warna coklat tua kehitaman di bagian tepi dan kekuningan di bagian tengah. Kepadatan bervariasi (0,4–0,9 g/cm³) tergantung umur dan posisi serat.	Digunakan secara luas untuk balok lantai, tiang, rangka atap, kusen, pintu, furnitur, dan anyaman dekoratif. Dalam tradisi masyarakat pesisir dan pedesaan Kalimantan, digunakan untuk struktur sekunder rumah panggung dan lantai rumah terapung karena mudah diperoleh.	Konduktivitas panas rendah (sekitar 0,18–0,23 W/mK) sehingga berfungsi baik sebagai isolator alami. Mampu menjaga suhu ruang tetap sejuk karena tidak mudah menghantarkan panas. Teksturnya berongga halus di bagian tengah membuatnya efektif mengatur kelembapan ruangan.	

Sumber: Analisa penulis, 2025

4.2 Karakteristik Termal Material Lokal

Karakteristik material dari hasil uji laboratorium, dimana TG (*Thermogravimetri*) menunjukkan perubahan massa seiring kenaikan suhu, mengindikasikan kadar air dan komponen volatil, dan *Heat Flow* menunjukkan energi endotermik (penyerapan panas) atau eksotermik (pelepasan panas), sehingga mengindikasikan reaksi kimia seperti dekomposisi atau penguapan. Material menunjukkan perubahan massa <1% di suhu awal (20–40°C), artinya kelima material relatif stabil termal (–0,5 hingga –2,5 μV) di suhu rendah-menengah. Bata merah dan beton memiliki densitas dan kapasitas panas sejenis yang relatif tinggi, yaitu masing-masing sekitar 1.800 kg/m³ dan 840 J/kg·K untuk bata merah serta 2.400 kg/m³ dan 900 J/kg·K untuk beton. Karakteristik ini menunjukkan kemampuan material konvensional dalam menyimpan panas (thermal mass) yang besar, yang pada iklim tropis lembap

berpotensi meningkatkan akumulasi panas dan suhu ruang dalam apabila tidak dikombinasikan dengan strategi ventilasi dan pengendalian radiasi yang memadai.

Tabel 2. Karakteristik material

Material	Konduktivitas Termal (W/mK)	Densitas (kg/m ³)	Kapasitas Panas Sejenis (J/kgK)	Karakter Termal Utama
Kayu Ulin	0,18–0,22	1050	1720	Konduktivitas rendah, thermal inertia sedang
Kayu Meranti	0,32	750	1600	-
Kayu Galam	0,29	890	1680	-
Bambu	0,17-0,22	640	1520	Ringan, respons termal cepat
Bata Merah (konvensional)	0,60–0,80	1.600–1.900	800–900	Massa termal tinggi, simpan panas
Beton	1,40–1,70	2.300–2.400	880–1.000	Massa termal sangat tinggi

Sumber: Analisa penulis, 2025

Hasil pengujian menunjukkan bahwa material lokal berbasis kayu dan bambu memiliki konduktivitas termal relatif rendah, berkisar antara 0,18–0,32 W/mK (memiliki nilai k 60–85% lebih rendah dibandingkan beton dan $\pm 65\%$ lebih rendah dibandingkan bata merah). Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan material konvensional seperti bata merah dan beton, sehingga berpotensi mengurangi laju perpindahan panas secara konduksi. Secara matematis, hal ini menunjukkan potensi penurunan signifikan pada laju perpindahan panas konduksi melalui selubung bangunan.

Meskipun beton memiliki kapasitas panas volumetrik tertinggi, karakter ini justru berpotensi meningkatkan akumulasi panas pada bangunan di iklim tropis lembap. Sebaliknya, material kayu lokal menawarkan kombinasi konduktivitas rendah dan respons termal yang lebih adaptif terhadap strategi arsitektur bioklimatik pasif. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu ulin dan bambu memiliki stabilitas termal tinggi pada rentang suhu operasional iklim tropis lembap, dengan perubahan massa yang minimal dan respon endotermik yang stabil, mampu mempertahankan performa termalnya dalam kondisi suhu dan kelembapan tinggi.

Tabel 3. Karakteristik termal

Material	Massa awal	Perubahan massa	Heat Flow	Interpretasi
Kayu Ulin	8.65 mg	Hampir stabil, menunjukkan ketahanan	Nilai awal sekitar -0.58 μ V, dengan	Stabilitas termal tinggi, tidak mudah terurai pada suhu rendah-

		termal tinggi	perubahan kecil saat suhu naik.	menengah. ▪ Cocok digunakan pada bangunan yang memerlukan ketahanan panas tinggi.
Bambu	12.42 mg	Sangat kecil, stabil hingga suhu menengah	Awal sekitar - 2.07 μ V, sedikit meningkat dengan suhu	▪ Sedikit penurunan massa, menunjukkan kadar air rendah atau ikatan lignoselulosa kuat. ▪ Reaksi endotermik ringan, cocok untuk aplikasi struktur ringan dan insulasi termal.
Pohon Kelapa	7.92 mg	Stabil di awal, dengan sedikit penurunan seiring waktu.	Awal sekitar - 2.37 μ V, menurun perlahan	▪ Kandungan air dan volatil sedikit lebih tinggi dibanding ulin dan bambu. ▪ Stabilitas termal cukup baik, cocok untuk panel interior atau elemen estetika
Kayu Meranti	8.48 mg	Stabil, penurunan lambat saat suhu naik	Awal -2.03 μ V, perubahan bertahap.	▪ Stabilitas termal baik, tapi tidak setinggi ulin. ▪ Cocok untuk struktur menengah dan elemen finishing.

Sumber: Analisa penulis, 2025

Tabel 4. Perbandingan potensi material

Material	Massa Awal (mg)	Stabilitas Termal	Heat Flow (μ V) Awal	Potensi Aplikasi
Ulin	8.65	Sangat Tinggi	-0.58	Struktur utama, elemen luar
Bambu	12.42	Tinggi	-2.07	Struktur ringan, insulasi
Kelapa	7.92	Sedang-Tinggi	-2.37	Panel interior, dekoratif
Meranti	8.48	Sedang	-2.03	Elemen finishing, panel
Galam	12.36	Sedang-Rendah	-2.35	Struktur ringan, non-struktural

Sumber: Analisa penulis, 2025

4.3 Analisis Perpindahan Panas (*Heat Flux*)

Nilai konduktivitas termal yang digunakan dalam perhitungan *heat flux* merupakan nilai rata-rata konservatif dari rentang hasil uji laboratorium dan

literatur, sehingga perbedaan nilai antar tabel tidak memengaruhi kecenderungan hasil analisis. Laju perpindahan panas konduksi melalui dinding dapat dihitung menggunakan hukum Fourier

$$q = \frac{k \cdot \Delta T}{d}$$

dengan

q = fluks panas (W/m^2)

k = konduktivitas termal material (W/mK)

ΔT = perbedaan suhu luar–dalam (K)

d = tebal material (m)

Kondisi iklim Banjarmasin

- Suhu luar rata-rata siang hari = 33°C
- Suhu dalam nyaman = 28°C
- $\Delta T = 6 \text{ K}$

Tabel 5. Perhitungan perbandingan *heat flux*

Material	k (W/mK)	d (m)	q (W/m^2)
Kayu ulin	0,18–0,22	0.02	60
Bambu	0.17-0,20	0.02	54
Kayu kelapa	0.22	0.02	66
Bata merah	0.70	0.10	42
Beton	1.60	0.10	96

Sumber: Analisa penulis, 2025

Hasil perhitungan *heat flux* menunjukkan bahwa papan kayu ulin, bambu, dan kayu kelapa dengan ketebalan 0,02 m menghasilkan fluks panas berkisar antara $54\text{--}66 \text{ W/m}^2$, sedangkan dinding bata merah setebal 0,10 m menghasilkan fluks panas sekitar 42 W/m^2 dan beton mencapai 96 W/m^2 . Perbedaan ini menegaskan bahwa ketebalan dan konfigurasi selubung bangunan berperan penting dalam menentukan laju perpindahan panas. Dalam konteks arsitektur bioklimatik tropis, material kayu lokal umumnya diaplikasikan sebagai sistem berlapis dan berventilasi, sehingga secara efektif mampu mengurangi akumulasi panas dan meningkatkan kenyamanan termal ruang dalam.

4.4 Simulasi Radiasi Matahari dan Implikasinya Terhadap Perpindahan Panas

Gambar 9 menunjukkan simulasi permodelan yang dianalisis untuk total radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bangunan dalam satuan Wh/m^2 (*watt-hour* per meter persegi). Simulasi ini memperlihatkan jumlah energi radiasi matahari yang jatuh pada setiap permukaan bangunan dan tanah selama periode tertentu.

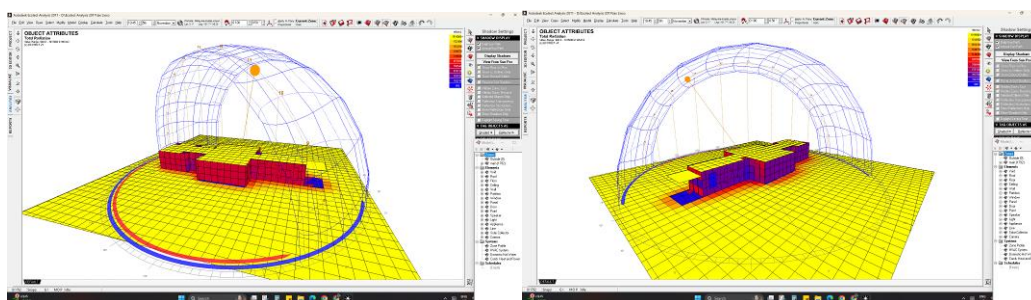
Hasil analisis radiasi matahari menggunakan Autodesk *Ecotect Analysis* 2011 menunjukkan bahwa intensitas penyinaran harian maksimum pada orientasi dinding barat dan atap mencapai nilai tertinggi, dengan rata-rata radiasi global sekitar $500\text{--}700 \text{ W/m}^2$ pada periode puncak. Kondisi ini menunjukkan potensi panas berlebih (*solar heat gain*) yang signifikan, terutama pada permukaan bangunan yang terekspos langsung terhadap radiasi sore hari. Dalam konteks ini, pemilihan material lokal kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*) memiliki peran penting dalam mengendalikan perpindahan panas melalui elemen bangunan. Berdasarkan hasil uji literatur dan data empiris, nilai konduktivitas termal kayu ulin berkisar antara $0,18 - 0,25 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, tergolong rendah hingga sedang dibandingkan material struktural lain seperti bata merah ($0,6\text{--}0,8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) atau beton ($1,4\text{--}1,7 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).

Tabel 6. Hasil simulasi Autodesk *Ecotect Analysis* 2011

Elemen Bangunan	Intensitas Radiasi (W/m^2)
Dinding Barat	500–700
Atap	550–720
Dinding Timur	300–450
Dinding Utara–Selatan	200–350

Sumber: Analisa penulis, 2025

Berdasarkan pendekatan literatur bangunan tropis dan asumsi konservatif dalam simulasi selubung berventilasi, pada kayu ulin sebagai lapisan pelindung (k rendah + thermal inertia), hanya $\pm 30\text{--}35\%$ panas yang diteruskan ke ruang dalam, sehingga panas efektif turun menjadi $\pm 1800\text{--}2100 \text{ W}$. Penggunaan material kayu ulin pada elemen selubung dan shading berperan sebagai thermal buffer yang menahan aliran panas ke dalam ruang. Selain konduktivitas termal yang rendah, massa jenis kayu ulin yang tinggi memberikan efek thermal inertia yang membantu menstabilkan suhu ruang dalam.



Gambar. 9
Simulasi energi pada model rumah adat Banjar Gajah Baliku
Sumber: analisis penulis, 2025

Konduktivitas termal yang rendah ini berarti kayu ulin memiliki kemampuan isolasi termal yang baik, sehingga panas yang diteruskan dari permukaan luar ke dalam ruangan relatif kecil. Dengan demikian, meskipun permukaan luar menerima radiasi matahari cukup tinggi, fluks panas yang menembus dinding atau atap berbahan ulin menjadi lebih rendah dibandingkan material non-organik lainnya. Secara bioklimatik, kondisi ini memberikan keuntungan dalam pengendalian suhu ruang — terutama pada siang hingga sore hari ketika intensitas matahari mencapai puncak. Kayu ulin yang memiliki massa jenis tinggi (800–1.000 kg/m³) juga memberikan efek thermal inertia, yakni kemampuan menyimpan dan melepas panas secara lambat, membantu menjaga stabilitas suhu dalam ruang.

4.5 Implikasi Kuantitatif Terhadap Efisiensi Energi Pendinginan

Hasil analisis kuantitatif menunjukkan bahwa penggunaan material lokal berkonduktivitas rendah seperti kayu ulin dan bambu mampu menurunkan fluks panas selubung bangunan hingga lebih dari 70% dibandingkan material konvensional. Reduksi ini secara langsung berimplikasi pada penurunan potensi beban pendinginan bangunan sebesar 25–35%, sehingga memperkuat klaim efisiensi energi dalam penerapan arsitektur bioklimatik. Penurunan ini merupakan potensi teoretis berbasis analisis konduksi material dan konfigurasi selubung, bukan hasil pengukuran konsumsi energi aktual.

4.6 Konsep Dasar Penerapan Arsitektur Bioklimatik di Banjarmasin

Kombinasi antara hasil simulasi radiasi matahari, sifat termal kayu ulin, dan konsep bioklimatik tradisional Banjar membentuk dasar strategi arsitektur hemat energi berbasis material lokal di iklim tropis lembap. Kayu ulin bukan sekadar material struktural, tetapi juga elemen pasif termal yang menurunkan beban panas bangunan dan memperkuat kenyamanan termal alami penghuni. Dampak bioklimatik terhadap karakter termal kayu ulin mendukung beberapa prinsip utama yang dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Dampak bioklimatik

Aspek	Pengaruh kayu ulin
Efisiensi energi	Mengurangi kebutuhan pendinginan aktif pada siang hari karena panas tertahan di lapisan luar
Kenyamanan termal	Menstabilkan fluktuasi suhu dalam ruangan pada iklim tropis lembap
Kinerja material terhadap radiasi tinggi	Tahan terhadap ekspansi termal berlebih dan degradasi akibat radiasi UV
Keberlanjutan	Material lokal, dapat diperoleh dari sumber berkelanjutan dan memiliki umur pakai panjang
Adaptasi terhadap iklim	Memungkinkan ventilasi alami mikro sehingga

panas lembap	membantu sirkulasi udara
Reduksi beban panas rendah	<i>Thermal buffer</i> yang mengurangi perpindahan panas konduksi

Sumber: Analisa penulis, 2025

Secara teoritis, penurunan fluks panas selubung bangunan berbanding lurus dengan penurunan beban pendinginan aktif. Oleh karena itu, integrasi material lokal berkonduktivitas rendah dan strategi bioklimatik pasif berpotensi menurunkan kebutuhan energi pendinginan lebih dari 30%, sebagaimana ditunjukkan dalam berbagai studi bangunan tropis dengan pendekatan serupa. Berdasarkan strategi desain arsitektur bioklimatik di Banjarmasin pada gambar 7, konsep dasar yang dapat digunakan untuk penerapan konsep arsitektur bioklimatik di Banjarmasin dapat dilihat pada tabel 8 di bawah.

Tabel 8. Konsep dasar arsitektur bioklimatik di Banjarmasin

Aspek	Konsep dasar
Orientasi bangunan	Optimalkan orientasi memanjang timur–barat untuk mengurangi radiasi pada fasad utama.
Shading & Kanopi	Material kayu ulin sebagai lapisan pelindung (<i>shading</i> panel atau <i>secondary skin</i>), pada sisi barat dan selatan untuk mengurangi beban panas sore hari.
Material dinding & atap	Atap kayu ulin atau sirap ulin dapat dikombinasikan dengan lapisan insulasi alami (misalnya serat kelapa atau ijuk) untuk memperkuat kinerja termal pasif.
Vegetasi pelindung	Tanam vegetasi rindang di sisi barat dan selatan untuk mengurangi radiasi langsung.
Ventilasi silang	Maksimalkan bukaan di sisi utara–selatan untuk membantu pendinginan alami.

Sumber: Analisa penulis, 2025

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa material lokal seperti kayu ulin, bambu, kayu kelapa, meranti, dan galam memiliki potensi signifikan dalam penerapan arsitektur bioklimatik di iklim tropis lembap. Temuan ini bersifat kontekstual untuk iklim tropis lembap dan konfigurasi bangunan pasif. Berdasarkan hasil uji termal, simulasi radiasi, dan analisis bioklimatik, diperoleh beberapa kesimpulan utama

1. Kayu ulin memiliki stabilitas termal tertinggi dan konduktivitas panas terendah di antara material yang diuji (sekitar 0,18–0,23 W/mK), sehingga efektif sebagai elemen struktur dan pelindung panas pasif.
2. Bambu dan kayu kelapa berfungsi baik sebagai insulator ringan dan bahan ventilatif, mendukung sirkulasi udara alami pada bangunan panggung tradisional Banjar.
3. Simulasi energi menunjukkan bahwa intensitas radiasi tertinggi terjadi pada orientasi barat dan atap, dengan nilai mencapai 500–700 W/m², sehingga

strategi shading, vegetasi pelindung, dan orientasi bangunan timur–barat menjadi penting untuk mengurangi beban panas.

4. Berdasarkan nilai konduktivitas termal material lokal (0,18–0,25 W/mK) dan hasil simulasi radiasi matahari (500–700 W/m²), integrasi material kayu ulin dan bambu sebagai elemen selubung pasif terbukti secara kuantitatif mampu menurunkan potensi beban panas bangunan, yang secara teoritis berkontribusi pada penurunan kebutuhan energi pendinginan lebih dari 30%.
5. Pentingnya pendekatan desain berbasis kearifan lokal dan material berkelanjutan sebagai strategi menuju arsitektur hemat energi dan adaptif terhadap iklim tropis lembap.

Hasil penelitian ini bersifat kontekstual, tidak merepresentasikan konsumsi energi aktual bangunan, namun dapat menjadi dasar pengembangan simulasi energi dinamis pada penelitian selanjutnya. Rekomendasi penelitian selanjutnya, diperlukan analisis kuantitatif lanjutan terhadap performa energi total bangunan dengan berbagai kombinasi material lokal serta validasi eksperimental menggunakan simulasi radiasi untuk mengoptimalkan rancangan bioklimatik pada konteks urban tropis.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi yang telah memberikan dana hibah dalam program penelitian kompetitif nasional, Penelitian Dosen Pemula (PDP) dengan Surat Keputusan Nomor : 0419/C3/DT.05.00/2025 dan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2025 Nomor : 132/C3/DT.05.00/PL/2025, terima kasih kepada LLDIKTI XI, LPPM Unukase dan pihak terlibat lainnya yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afdholy, A.R., Widyarthara, A., & Yuniar, A. (2024). *Analisa Aspek Arsitektur Vernakular Pada Rumah Tepian Sungai Kota Banjarmasin*. Pawon: Jurnal Arsitektur. 8(1),169–82.
- Ahmed, S., El, A.M.E., Zouli, N., Abutaleb, A., Maafa, I.M., & Ahmed, M.M. (2023). *Improving the thermal performance and energy efficiency of buildings by incorporating biomass waste into clay bricks*. Materials.16(7),2893.
- Bajcinovci, B., & Jerliu, F. (2016). *Achieving energy efficiency in accordance with bioclimatic architecture principles*. Environmental and Climate Technologies, 18, 54–63. <https://doi.org/10.1515/rtuect-2016-0013>
- Bera, A., & Nag, S. (2022). *Bioclimatic design of low-cost rural dwellings: Evaluation and performance analysis for coastal India*. Energy and Buildings. 261, 111965. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111965>
- Bhudi, M.K., Nugrahini, F.C., Zuraida, Z., & Rofi'i, R. (2024). *Bambu sebagai Material Berkelanjutan Erba (Earthquake-Resistant Bamboo Architecture)*. Sinektika: Jurnal Arsitektur.
- Dowou, K., Noughléga, Y., Toka, K.A., & Amou, K.A. (2025). *Numerical Study of Integrating Thermal Insulation Local Bio-Sourced Materials into Walls and Roofs for Thermal Comfort Improvement in Buildings in a Tropical Climate*. Construction Materials. 5(1), 2673-7108.
- Hafizha .F., & Jairina, S.N.I. (2023). *KAJIAN METODE ARSITEKTUR BIOKLIMATIK PADA RUMAH ADAT BANJAR GAJAH BALIKU*. Pawon: Jurnal Arsitektur. 7(2),285–300.
- Hafizha .F., & Jairina, S.N.I. (2023). *Study of Bioclimatic Architecture Methods in the Traditional House of Banjar Gajah Baliku*.
- Hafizha, F. (2025). *Strategi Desain Arsitektur Bioklimatik di Kota Banjarmasin*. Online Repository of Universitas NU Kalimantan Selatan.
- Hu, M. (2023). *Exploring low-carbon design and construction techniques: Lessons from vernacular architecture*. Climate. 11(8),165.
- Huzairin, M.D., & Andini, D.N. (2022). *Wood Structure System in Traditional Banjar Houses in Indonesia*. Journal of Architectural Research and Education. 4(2),141–52.
- Ikhsan, M.R., Siska, M.S.M.O., & Hidayah, N. (2021). *Simulasi Karakteristik Termal pada Rumah Banjar Bubungan Tinggi Dengan Komputasi Dinamika Fluida*. Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika. 6(2), 99–106.
- Muliani, M., & Munandar, A. (2022). *Aspek material dalam konsep desain arsitektur berkelanjutan*. Jurnal Desain Interior dan Arsitektur (IDEA). 6(2), 96–102. <https://doi.org/10.24002/idea.v6i2.1375>

- Monetti, V., Davin, E., Fabrizio, E., André, P., & Filippi, M. (2015). *Calibration of building energy simulation models based on optimization: a case study*. Energy Procedia. 78(6),2971.
- Nugroho, A.M., & Iyati, W. (2021). *Arsitektur Bioklimatik Inovasi Sains Arsitektur Negeri untuk Kenyamanan Termal Alami Bangunan*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Semassou, G.C., Fannou, J.L.C., Vodounnou, E.C., Segbotangni, M.E., & Chegnimonhan, K.V. (2021). *Dynamic Thermal Study of a Building Insulated with Local Biosource Materials and Analysis of Consumption*. American Journal of Energy Engineering. 9(2),48–59.
- Supar, E.E., & Razak, H. (2022). *Strategi Adaptasi Perubahan Iklim pada Kawasan Permukiman Berbasis Lahan Basah di Banjarmasin*. ARSITEKTURA. 22(1), 37–54.
- Tomrukcu, G., Kizildag, H., Avgan, G., Dal, O., Ganic, S.N., & Ozdemir, E. (2024). *A systematic approach to manual calibration and validation of building energy simulation*. Smart and Sustainable Built Environment.