



Arsitektur Responsif Terhadap Perubahan Iklim: Strategi Adaptasi Bangunan di Wilayah Tropis

Petrus Jhon Alfred D. Dede¹, Alfons Mbuu², DVX. Deddy Kurniawan³

¹²³Program Studi Arsitektur Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Flores, Indonesia

*) Correspondence e-mail: ff3redo@gmail.com

Received: 15 November 2025

Revised: 09 Desember 2025

Accepted: 15 Desember 2025

ABSTRACT

Global climate change is a critical problem that has a significant impact on tropical regions, including Indonesia, which is characterized by increasing air temperatures, changes in rainfall patterns, and increasing frequency of natural disasters that substantially affect thermal comfort and building function. This research aims to develop a responsive architectural design strategy that is adaptive to climate change in the tropics through a holistic approach that involves the use of natural ventilation, dynamic facades, the use of local materials, and the integration of adaptive technologies for real-time adaptation to rapid and erratic climate variability. The method used is in the form of a qualitative approach with an in-depth case study, which combines literature review, interviews with practitioners, and analysis of documentation of relevant projects. The results of the study show that the application of adaptive technologies, such as kinetic facades, intelligent ventilation systems based on the Internet of Things (IoT), thermodynamic adaptive materials, and the use of renewable energy, significantly improve energy efficiency and thermal comfort in buildings in tropical regions. Case studies at Green School Bali, Madura Traditional House Bangsal Budaggan, and tropical modern villas in Bali reinforce the importance of harmony between the principles of passive and active tropical architecture adapted to the local context as well as cutting-edge technologies in creating adaptive and sustainable buildings. The main obstacles found include socio-economic aspects, regulatory readiness, and limited policy support. This research fills the research gap by expanding the focus from traditional passive design to dynamic and adaptive responsive architecture concepts, while providing strategic recommendations for the development of relevant hybrid design models in the face of future climate change challenges in the tropics.

Keywords: responsive architecture, climate change adaptation, adaptive technology, tropical design.

ABSTRAK

Perubahan iklim global merupakan permasalahan kritis yang memberikan dampak signifikan terhadap wilayah tropis, termasuk Indonesia, yang ditandai oleh peningkatan suhu udara, perubahan pola curah hujan, serta peningkatan frekuensi bencana alam yang secara substansial memengaruhi kenyamanan termal dan fungsi bangunan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan strategi desain arsitektur responsif yang adaptif terhadap perubahan iklim di kawasan tropis melalui pendekatan holistik yang melibatkan pemanfaatan ventilasi alami, fasad dinamis, penggunaan material lokal, serta integrasi teknologi adaptif untuk penyesuaian secara real-time terhadap variabilitas iklim yang cepat dan tidak menentu. Metode yang digunakan berupa pendekatan kualitatif dengan studi kasus mendalam, yang mengkombinasikan kajian pustaka, wawancara dengan praktisi, serta analisis dokumentasi proyek-proyek relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi adaptif, seperti fasad kinetik, sistem ventilasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT), material adaptif termokinetik, dan pemanfaatan energi terbarukan, secara signifikan meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal pada bangunan di wilayah tropis. Studi kasus di Green School Bali, Rumah Tradisional Madura Bangsal Budaggan, dan vila modern tropis di Bali memperkuat pentingnya harmoni antara prinsip-prinsip arsitektur tropis pasif dan aktif yang disesuaikan

dengan konteks lokal serta teknologi mutakhir dalam menciptakan bangunan yang adaptif dan berkelanjutan. Kendala utama yang ditemukan meliputi aspek sosial-ekonomi, kesiapan regulasi, dan keterbatasan dukungan kebijakan. Penelitian ini mengisi gap riset dengan memperluas fokus dari desain pasif tradisional menuju konsep arsitektur responsif yang dinamis dan adaptif, sekaligus memberikan rekomendasi strategis untuk pengembangan model desain hibrida yang relevan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim masa depan di wilayah tropis.

Kata kunci: *arsitektur responsif, adaptasi perubahan iklim, teknologi adaptif, desain tropis.*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah menjadi salah satu isu paling penting dan mendesak, terutama bagi wilayah tropis yang menghadapi beragam tantangan lingkungan seperti kenaikan suhu udara, pergeseran pola curah hujan, serta kenaikan permukaan laut. Laporan dari Intergovernmental Panel on Climate Change (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021) memperkirakan bahwa suhu global akan meningkat antara 1,5°C hingga 2°C pada akhir abad ini apabila emisi gas rumah kaca tidak dapat dikendalikan secara efektif. Di kawasan tropis, termasuk Indonesia, kenaikan suhu tersebut berkontribusi pada meningkatnya frekuensi kejadian bencana alam seperti banjir, tanah longsor, dan gelombang panas yang ekstrim, yang secara langsung memengaruhi kenyamanan penghuni serta fungsi bangunan (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021); (Saifudeen, 2024). Dalam konteks iklim tropis yang panas dan lembab, strategi utama untuk menghadapi tantangan tersebut meliputi upaya pengurangan radiasi sinar matahari langsung pada bangunan, pemanfaatan ventilasi alami yang optimal, serta penggunaan ruang *buffer* seperti *basement* atau *semi-basement* guna mendukung proses pendinginan alami. Pendekatan ini masih menjadi dasar utama dalam kajian arsitektur tropis karena dianggap mampu menyediakan solusi yang efisien secara energi sekaligus ramah lingkungan (Handoko, 2023); (Watson, 1983); (Givoni, 1998).

Arsitektur tropis mencerminkan upaya adaptasi desain dengan mempertimbangkan kondisi suhu tinggi, kelembapan yang tinggi, serta curah hujan yang intens. Pendekatan ini mengutamakan penggunaan material lokal dan strategi pasif seperti orientasi bangunan yang tepat, ventilasi silang, serta penambahan elemen pelindung matahari berupa overstek dan lapisan pelindung sekunder (*secondary skin*) untuk meningkatkan kenyamanan termal dan efisiensi energi (“Arsitektur tropis: Memahami kearifan lokal dalam desain bangunan,” 2025); (Kumar dan Kumar, 2020). Konsep tersebut berakar pada kearifan lokal yang telah teruji secara historis, menempatkan kesejahteraan penghuni dan prinsip keberlanjutan sebagai fokus utama, serta menjaga harmoni antara bangunan dan iklim tropis yang melingkupinya.

Sementara itu, konsep arsitektur responsif menyoroti kemampuan bangunan secara fisik dan fungsional untuk bertransformasi sesuai dengan perubahan kondisi lingkungan. Penerapan fasad kinetik, material pintar, dan mekanisme otomatis menjadi aspek penting dalam teknologi ini (Ahmad, 2024). Pendekatan ini merupakan pengembangan terkini dalam arsitektur tropis yang memungkinkan bangunan tidak hanya bertahan secara pasif terhadap kondisi alam, tetapi juga mampu merespons secara aktif terhadap fluktuasi iklim. Dengan demikian, arsitektur responsif tidak hanya meningkatkan kenyamanan penghuninya tetapi juga memperkuat ketahanan bangunan terhadap risiko bencana iklim. Kajian Ramadhan (2024) menegaskan bahwa arsitektur adaptif terhadap perubahan iklim dapat meningkatkan ketahanan bangunan terhadap bencana alam seperti banjir, angin topan, dan gempa bumi melalui strategi desain yang mengoptimalkan efisiensi energi dan penggunaan material ramah lingkungan. Selain itu, penelitian oleh Prihatma et al. (2025) pada klaster perumahan modern di Banda Aceh menunjukkan bahwa integrasi prinsip vernakular seperti ventilasi silang dan orientasi utara-selatan tidak hanya meningkatkan kenyamanan termal tetapi juga berfungsi sebagai buffer terhadap angin kencang dan risiko bencana iklim tropis, sehingga memperkuat resiliensi bangunan secara keseluruhan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi aspek-aspek arsitektur tropis dan mekanisme adaptasi terhadap perubahan iklim. Handoko, (2023) menyimpulkan bahwa prinsip desain arsitektur bioklimatik di wilayah tropis harus disesuaikan dengan karakteristik iklim tropis basah dan kering, dengan penekanan pada pengendalian *heat gain* dan *heat loss* guna mencapai

kenyamanan termal di dalam ruangan. Penelitian ini menegaskan pentingnya pengelolaan selubung bangunan sebagai upaya pasif untuk mengoptimalkan kondisi interior. Meskipun demikian, kajian tersebut masih bersifat teoritis dan kurang membahas mekanisme adaptasi yang bersifat dinamis dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Di sisi lain, studi yang dilakukan oleh Gustianingrum dan Lissimia, (2022) mengungkapkan bahwa arsitektur modern tropis perlu mengintegrasikan prinsip efisiensi energi dengan strategi adaptasi lokal, seperti pengaturan orientasi bangunan, desain atap yang mendukung aliran air hujan secara efisien, serta penggunaan elemen fasad yang berfungsi sebagai pelindung dari panas matahari. Temuan ini menegaskan pentingnya aspek teknis desain dalam mendukung adaptasi iklim, namun studi tersebut masih terbatas dalam membahas kemampuan bangunan untuk merespon perubahan iklim secara *real-time* maupun adaptif.

Penelitian yang dilakukan oleh Ilmiansah, (2025) mengenai infrastruktur olahraga berkelanjutan di wilayah iklim tropis menunjukkan bahwa penerapan ventilasi alami yang dipadukan dengan penggunaan bahan bangunan lokal dapat mengurangi konsumsi energi untuk pendinginan hingga sebesar 30%. Hasil studi ini menegaskan bahwa kombinasi solusi energi pasif dan aktif menawarkan efektivitas yang tinggi dalam menghadapi dinamika iklim tropis yang ekstrem. Meskipun demikian, fokus penelitian tersebut lebih tertuju pada aspek penerapan teknik dan belum mengupas secara mendalam pengembangan desain arsitektur yang responsif secara holistik.

Sementara itu, kajian yang dilakukan oleh Nugroho, (2024) pada arsitektur tradisional Madura menyoroti pentingnya kearifan lokal dalam konteks arsitektur tropis yang telah terbukti adaptif selama berabad-abad. Penelitian ini mengidentifikasi bagaimana orientasi bangunan, desain bentuk jendela, serta tata ruang atap secara efektif mendukung sirkulasi udara alami. Temuan ini menegaskan urgensi pemahaman prinsip-prinsip desain vernakular sebagai landasan dalam meningkatkan adaptasi iklim pada arsitektur modern. Namun, kajian tersebut juga menunjukkan perlunya integrasi teknologi terbaru agar desain arsitektur dapat lebih responsif terhadap percepatan perubahan iklim saat ini.

Penelitian ini memiliki keterkaitan yang erat dengan kajian-kajian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Handoko, (2023), Gustianingrum dan Lissimia, (2022), serta Ilmiansah, (2025). Secara umum, landasan teori yang digunakan merujuk pada prinsip-prinsip arsitektur bioklimatik dan desain tropis tradisional, yang menitikberatkan pada ventilasi alami serta pengendalian panas sebagai strategi utama. Di sisi lain, studi-studi terkini mulai mengadopsi integrasi teknologi aktif dan konsep fasad dinamis yang memperluas ruang lingkup responsivitas bangunan, guna menyesuaikan dengan kondisi perubahan iklim yang semakin cepat dan tidak menentu. Penelitian ini melanjutkan tradisi tersebut dengan mengembangkan konsep arsitektur responsif yang terpadu, yang bertujuan memperkuat adaptabilitas sekaligus keberlanjutan bangunan di wilayah tropis.

Berdasarkan telaah literatur tersebut, terdapat celah penelitian (*research gap*) yang signifikan, yakni minimnya studi yang secara komprehensif menggabungkan desain arsitektur responsif dan adaptif yang mampu menghadapi perubahan iklim secara dinamis di kawasan tropis. Sebagian besar penelitian hingga saat ini masih bersifat statis dengan fokus pada energi dan pemilihan material, tanpa menyentuh aspek bagaimana bangunan dapat bertransformasi atau beradaptasi secara *real-time* terhadap variabilitas iklim yang cepat dan tidak terduga.

Penelitian ini dirancang untuk mengisi celah yang ada dengan mengeksplorasi dan mengembangkan strategi desain arsitektur responsif terhadap perubahan iklim di wilayah tropis. Pendekatan yang digunakan mencakup analisis holistik terhadap pemanfaatan ventilasi alami, fasad dinamis, pemilihan material lokal, serta integrasi teknologi adaptif yang memungkinkan bangunan menyesuaikan diri secara *real-time* dengan variabilitas iklim. Selain itu, studi ini juga menelaah sejumlah studi kasus bangunan tropis yang berhasil menerapkan prinsip adaptasi responsif, sebagai landasan untuk pengembangan desain arsitektur masa depan yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi kasus sebagai kerangka utama analisis. Metode ini dipilih agar dapat menggali secara mendalam berbagai strategi dan mekanisme arsitektur responsif dalam menghadapi perubahan iklim di wilayah tropis. Studi

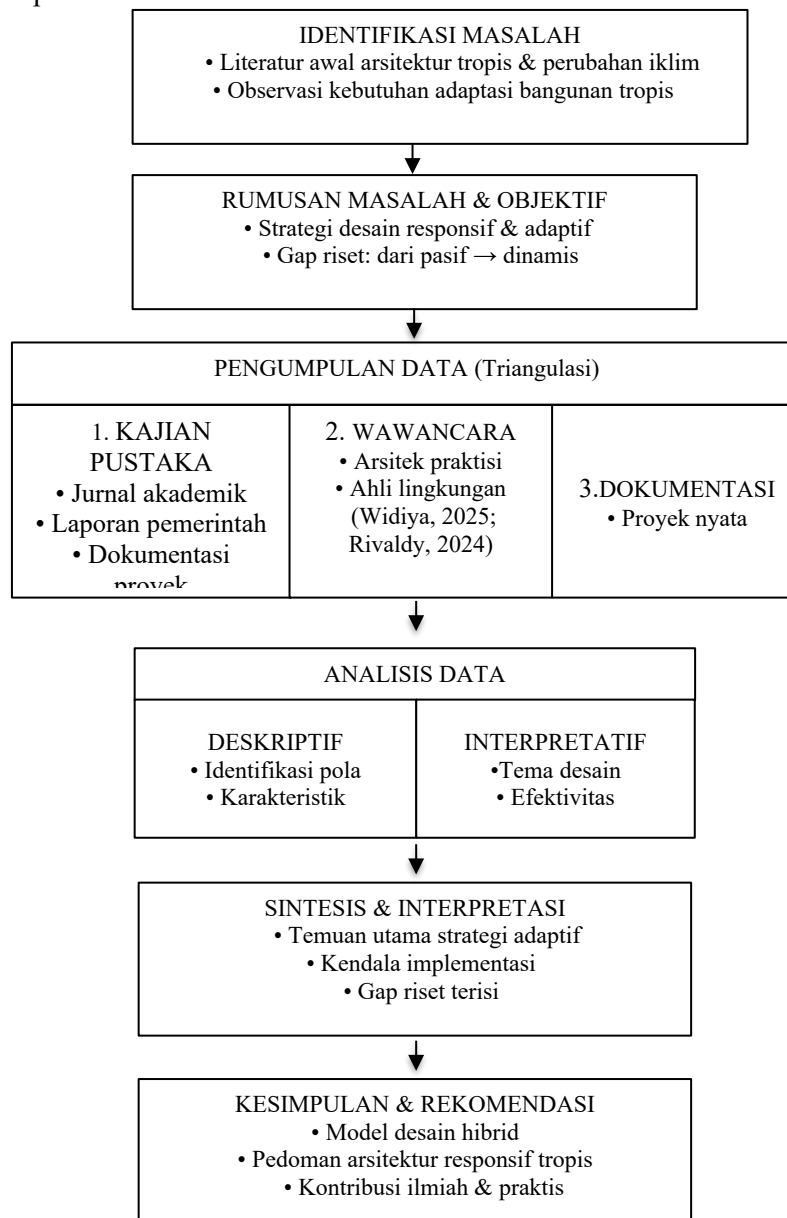
kasus memungkinkan peneliti untuk menelaah praktik nyata pada proyek arsitektur yang telah mengimplementasikan prinsip adaptasi iklim secara komprehensif dan kontekstual.

Pengumpulan data dari berbagai sumber, meliputi:

1. Kajian Pustaka (*Literature Review*): meliputi studi literatur akademik terkait arsitektur tropis, laporan pemerintah tentang perubahan iklim dan adaptasi bangunan, serta dokumentasi proyek arsitektur yang relevan baik dalam bentuk artikel jurnal, buku, dan publikasi resmi (Widiya dan Suharyani, 2025) ; (Arisal, 2020).
2. Wawancara: dilakukan dengan arsitek dan ahli lingkungan yang terlibat langsung dalam proyek-proyek adaptasi iklim di wilayah tropis. Metode ini bertujuan memperoleh informasi mendalam mengenai alasan desain, kendala teknis, serta efektivitas solusi arsitektural yang diterapkan (Rivaldy, 2024).

Prosedur analisis data, meliputi:

1. Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif dan interpretatif menggunakan teknik triangulasi untuk meningkatkan validitas temuan. Analisis diarahkan pada pengidentifikasian pola dan tema yang berhubungan dengan strategi adaptasi iklim, karakteristik desain responsif, serta efektivitas penerapan di lapangan.
2. Studi ini juga menggabungkan analisis perbandingan antara teori dan praktik untuk mengisi gap riset yang ada serta memberikan rekomendasi desain arsitektur yang adaptif dan berkelanjutan di wilayah tropis.



Gambar 1. Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi Adaptif dalam Arsitektur Tropis

Pemanfaatan teknologi adaptif semakin penting dalam menciptakan bangunan responsif yang mampu menyesuaikan diri secara real-time terhadap perubahan cuaca ekstrem di wilayah tropis. Beberapa contoh teknologi yang diimplementasikan antara lain:

1. Fasad dinamis dan *shading* sistem otomatis: fasad dengan elemen kinetik yang dapat bergerak menyesuaikan intensitas matahari secara otomatis, sehingga mengurangi beban pendinginan dan mempertahankan kenyamanan termal (Ramadhan dan Pynkyawati, 2023); (Ahmad, 2024). Perangkat ini dilengkapi sensor pintar yang otomatis membuka/menutup panel *shading* sesuai kebutuhan, meminimalkan panas berlebih serta memaksimalkan pencahayaan alami sehingga mengurangi kebutuhan *lighting* buatan.
2. Sistem ventilasi cerdas berbasis IoT: pengembangan jaringan sensor *Internet of Things* (IoT) dalam pengelolaan ventilasi bangunan tropis mampu memonitor kualitas udara serta suhu dan kelembapan lingkungan secara *real-time* (Ilmiansah, 2025). Sistem ini otomatis mengatur bukaan ventilasi dan kipas untuk menjaga aliran udara optimal, sekaligus mendeteksi polusi atau kondisi tidak sehat. Penggunaan teknologi ini menandai pergeseran arsitektur tropis dari pasif menjadi *smart-responsive*.
3. Material adaptif dan ramah lingkungan semakin banyak digunakan dalam upaya meningkatkan daya tahan termal bangunan di iklim tropis. Contohnya adalah cat termokromik yang mampu mengubah warna sesuai dengan perubahan suhu, serta beton berpori tinggi yang mendukung optimalisasi sirkulasi udara di dalam bangunan (Widiya dan Suharyani, 2025). Penggunaan material-semacam ini mengadopsi prinsip biomimikri dan teknologi nano untuk menyesuaikan sifat fisik bahan dengan kondisi iklim tropis yang ekstrem, sehingga memberikan kontribusi signifikan terhadap kenyamanan termal dan efisiensi energi bangunan.
4. Integrasi energi terbarukan juga menjadi bagian penting dalam desain bangunan tropis yang berkelanjutan. Pemanfaatan panel surya, turbin angin skala kecil, serta sistem pengelolaan air hujan secara terpadu memungkinkan terciptanya bangunan yang mandiri secara energi dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap variabilitas iklim ekstrem, seperti kekeringan dan banjir (Ilmiansah, 2025). Pendekatan ini tidak hanya mendukung pengurangan emisi karbon dioksida, tetapi juga memperkuat daya tahan bangunan terhadap dampak perubahan iklim yang semakin tidak menentu.

Kombinasi teknologi tersebut memungkinkan terciptanya bangunan yang tidak sekadar bersifat pasif dalam menghadapi dampak iklim tropis, melainkan juga mampu beradaptasi secara aktif dan dinamis dengan kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

Regulasi dan Kebijakan Pendukung

Hasil wawancara dan analisis dokumentasi mengungkapkan bahwa keberhasilan penerapan desain arsitektur responsif di wilayah tropis sangat dipengaruhi oleh ketersediaan regulasi yang memadai, antara lain:

1. Regulasi bangunan hijau dan standar energi: Meskipun pemerintah daerah umumnya telah menetapkan standar minimal untuk bangunan ramah lingkungan, serta adanya sertifikasi seperti Green Building Council Indonesia (GBCI), penerapan regulasi yang bersifat insentif dan penegakan standar yang lebih ketat terkait efisiensi energi dan adaptasi iklim masih tergolong terbatas.
2. Kebijakan pendukung inovasi teknologi: Kurangnya dukungan fiskal, seperti insentif pajak atau subsidi bagi penerapan teknologi adaptif dan material inovatif dalam bangunan, menjadi salah satu kendala utama yang menghambat adopsi teknologi tersebut secara lebih luas.
3. Sosialisasi dan edukasi profesional: Terbatasnya pengetahuan dan pemahaman para arsitek serta kontraktor mengenai konsep desain responsif dan teknologi adaptif menuntut adanya program pelatihan dan edukasi yang lebih intensif guna meningkatkan kapasitas sumber daya manusia di bidang ini (Ramadhan dan Pynkyawati, 2023).

4. Kebijakan integratif antarsektor: Regulasi di sektor bangunan tidak dapat berdiri sendiri, melainkan harus diintegrasikan secara sinergis dengan kebijakan di bidang urbanisme, lingkungan, dan perubahan iklim. Pendekatan ini menjadi kunci untuk menjamin keberlanjutan jangka panjang dalam pengelolaan ruang dan sumber daya alam yang mendukung implementasi arsitektur adaptif. Dalam konteks ini, pengembangan regulasi yang lebih progresif dan terintegrasi diyakini mampu mempercepat pelaksanaan arsitektur responsif yang berkelanjutan di wilayah tropis.

Studi Kasus Sebagai Model Pengembangan Masa Depan

Green School Bali

Green School Bali terletak di wilayah beriklim tropis dengan suhu rata-rata harian berkisar antara 26 hingga 30 °C dan kelembapan udara sekitar 80%. Bangunan ini memanfaatkan sistem ventilasi alami melalui desain ruang terbuka yang luas dan ventilasi silang yang efektif, sehingga mampu mengurangi akumulasi panas di dalam ruangan. Sistem ventilasi ini beroperasi tanpa menggunakan pendingin mekanis, yang berkontribusi signifikan dalam pengurangan konsumsi energi. Selain itu, penggunaan atap bambu dan elemen bangunan yang bersifat *breathable* membantu mengatur kelembapan udara sekaligus menjaga suhu ruang dalam rentang nyaman secara termal, yakni antara 25 hingga 28 °C bagi para penghuninya.

Pengelolaan pencahayaan alami di Green School didukung oleh penataan bangunan yang memungkinkan penetrasi cahaya siang secara maksimal, sekaligus menghindari paparan langsung sinar matahari yang berlebihan. Penerapan lampu LED hemat energi dilengkapi dengan desain pencahayaan yang *human-centric*, menjadikan kenyamanan visual dan efisiensi energi sebagai prioritas utama. Sistem pencahayaan ini juga mampu menciptakan berbagai skenario penggunaan, seperti untuk aktivitas olahraga, acara khusus, dan keamanan malam hari, dengan pengaturan intensitas cahaya yang bersifat adaptif sesuai kebutuhan.

Keberhasilan Green School dalam mengintegrasikan prinsip arsitektur tropis dan teknologi hijau mampu menurunkan konsumsi energi hingga 40%. Rancangan ventilasi dan pencahayaan alami yang teliti memberikan kenyamanan termal dan visual yang optimal tanpa ketergantungan pada penggunaan pendingin udara atau lampu konvensional. Dengan demikian, Green School Bali menjadi model pendidikan berkelanjutan yang unggul sekaligus representasi nyata dari arsitektur ramah lingkungan di iklim tropis.



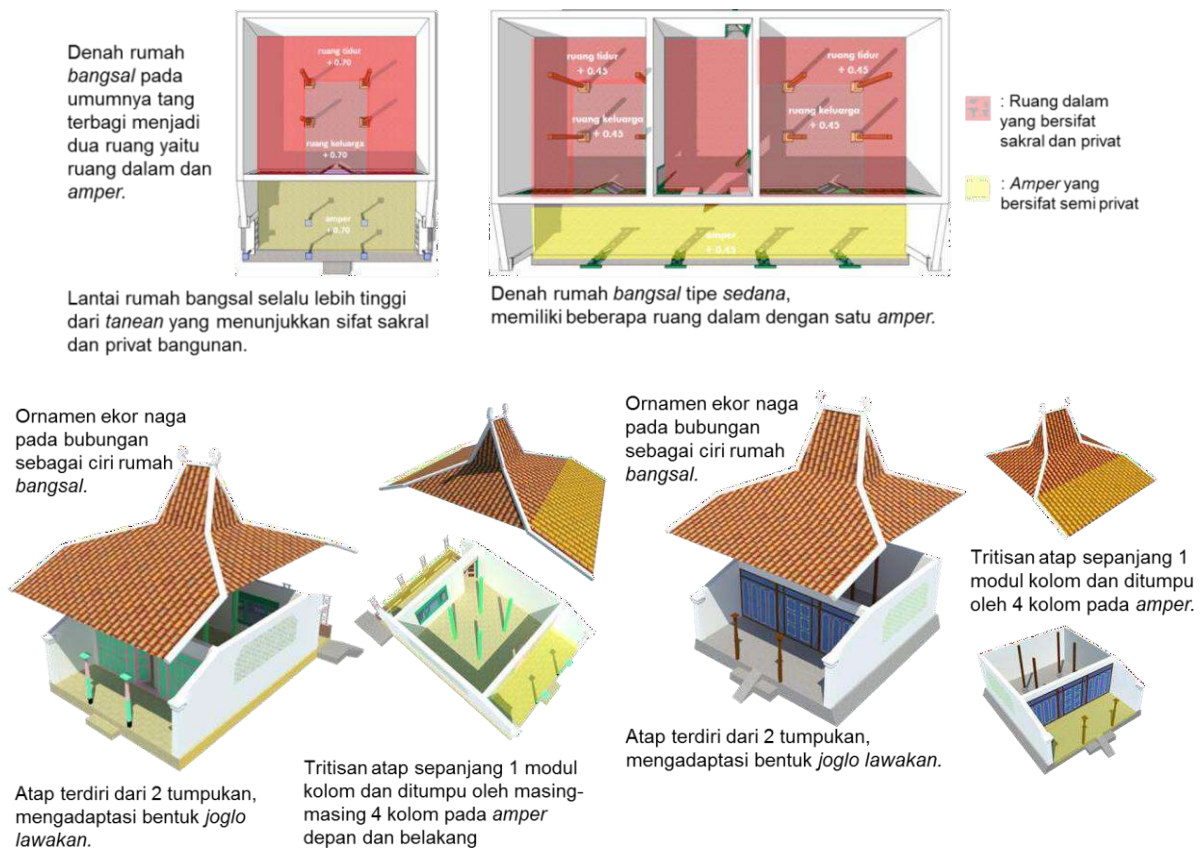
Gambar 2. Green School Bali
Sumber: Shim Brigitte (2010)

Rumah Tradisional Madura Bangsal Budaggan

Rumah Bangsal Budaggan menunjukkan karakteristik termal yang baik dengan suhu interior rata-rata sekitar 28,1°C dan kelembapan yang relatif tinggi, mencapai sekitar 80%. Struktur bangunan ini dirancang dengan ventilasi alami yang optimal melalui orientasi bangunan serta pengaturan jumlah dan ukuran jendela, sehingga memungkinkan sirkulasi udara yang lancar. Kondisi ini berkontribusi pada pemeliharaan suhu ruangan yang tetap sejuk untuk waktu yang lebih lama, terutama pada ruang hunian. Suhu tertinggi cenderung terjadi pada ruang teras terbuka di siang hari, sedangkan ruang hunian menunjukkan kestabilan suhu yang lebih baik dan lebih sejuk akibat konfigurasi bangunan yang memperhitungkan pergerakan angin serta shading alami. Rentang fluktuasi suhu harian di ruang hunian relatif kecil, yakni sekitar selisih 4,1°C, yang menunjukkan stabilitas termal yang memadai.

Dalam hal pencahayaan alami, Rumah Bangsal Budaggan memanfaatkan bukaan yang luas dan ditempatkan secara strategis untuk memastikan distribusi cahaya yang merata tanpa menimbulkan panas berlebih. Bukaan ini juga mengoptimalkan penghawaan silang yang secara efektif meningkatkan kenyamanan termal sekaligus menurunkan kelembapan di dalam ruang. Penggunaan material alami dan penerapan kearifan lokal, seperti atap yang tinggi dan ruang transisi semi-terbuka, turut berperan dalam mendukung fungsi peneduhan serta respons terhadap kondisi iklim.

Rumah tradisional ini merupakan contoh ideal dari desain pasif yang selaras dengan iklim tropis secara optimal. Kombinasi antara sistem ventilasi silang, material dengan konduktivitas panas rendah, dan elemen *shading* alami secara efektif menjaga kestabilan suhu serta kelembapan di dalam bangunan. Konsep tersebut memiliki potensi dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi teknologi modern, sehingga dapat menghasilkan solusi *hibrid* yang adaptif dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan iklim tropis masa kini.



Gambar 3. Rumah Tradisional Madura Bangsal Budaggan

Villa Modern Tropis di Bali

Villa modern tropis di Bali mengaplikasikan fasad dinamis dan sistem *shading* otomatis yang berfungsi mengatur radiasi matahari langsung ke dalam interior bangunan. Pemilihan material dengan massa termal yang sesuai memungkinkan penyimpanan dan pelepasan panas secara efektif, sehingga suhu dalam ruangan tetap stabil sepanjang hari. Sistem ventilasi alami yang dilengkapi dengan bukaan yang dapat dikontrol secara otomatis mendukung terjadinya penghawaan silang yang optimal sekaligus menjaga kelembapan pada tingkat yang nyaman.

Pengaturan pencahayaan villa ini dirancang dengan mempertimbangkan adaptasi terhadap perubahan posisi matahari dan variasi kondisi cuaca. *Shading* otomatis pada fasad berperan dalam menyesuaikan intensitas pencahayaan sehingga ruang menerima cahaya alami secara optimal tanpa menimbulkan panas berlebih. Hal ini sekaligus mengurangi ketergantungan pada penggunaan lampu buatan di siang hari. Pendekatan tersebut juga mendukung nilai estetika dan fungsi bangunan secara berkelanjutan.

Villa ini merepresentasikan arah perkembangan arsitektur tropis masa depan yang mengintegrasikan teknologi canggih dengan prinsip desain yang responsif terhadap iklim tropis. Fasad yang responsif dan sistem *shading* otomatis menjadi elemen kunci dalam mengendalikan kondisi termal dan pencahayaan, sehingga menciptakan lingkungan interior yang nyaman dan hemat energi. Pendekatan ini memberikan keseimbangan yang harmonis antara aspek estetika, fungsi, dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Secara keseluruhan, ketiga bangunan tersebut menunjukkan penerapan prinsip-prinsip arsitektur tropis secara efisien yang didukung oleh teknologi adaptif dan kearifan lokal. Penghawaan alami, pencahayaan yang optimal, serta pengendalian termal menjadi faktor utama dalam meningkatkan kenyamanan dan efisiensi energi, yang dapat dijadikan sebagai model pengembangan arsitektur berkelanjutan di wilayah tropis pada masa mendatang.

Diskusi

Hasil analisis pembahasan dan studi kasus dalam penelitian ini memperkuat pemahaman konseptual yang ditemukan dalam kajian literatur mengenai arsitektur responsif yang adaptif terhadap perubahan iklim di wilayah tropis. Temuan menunjukkan bahwa teknologi adaptif seperti fasad dinamis, sistem ventilasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT), serta penggunaan material inovatif sangat potensial dalam meningkatkan kenyamanan termal dan efisiensi energi bangunan tropis, sebagaimana juga dikemukakan oleh Santamouris (2013) dan Ramadhan dan Pynkyawati, (2023)

Sebagaimana diamati pada Green School Bali, penerapan ventilasi silang yang dikombinasikan dengan pencahayaan alami adaptif menghasilkan pengurangan signifikan dalam konsumsi energi dan peningkatan kenyamanan penghuni. Hal ini sejalan dengan teori desain pasif dan aktif yang dianjurkan Givoni, (1998) yang menegaskan bahwa sinergi antara elemen alami dan teknologi adaptif menjadi kunci sukses arsitektur tropis modern. Namun, studi kasus ini juga menyinggung kendala praktis seperti kebutuhan biaya investasi awal yang tinggi dan pengelolaan teknis yang kompleks, masalah yang sebelumnya dibahas perihal keterbatasan sumber daya di wilayah tropis berkembang.

Rumah Tradisional Madura memberikan bukti nyata efektivitas desain pasif yang berbasis kearifan lokal, terutama dalam menjaga keseimbangan suhu dan kelembapan internal. Literatur mengenai biomimikri dan praktik tradisional seperti yang dijelaskan oleh Bar-Cohen (2011) menekankan nilai penting adaptasi lokal yang proaktif dalam menghadapi iklim tropis. Namun, keterbatasan integrasi teknologi modern dalam desain ini menjadi tantangan yang relevan dengan temuan kebutuhan riset kolaboratif guna mengembangkan solusi hibrid berbasis kombinasi desain tradisional dan teknologi adaptif.

Sementara itu, Villa Modern Tropis di Bali menonjolkan potensi teknologi canggih dan estetika yang terintegrasi sebagai wujud arsitektur responsif kontemporer. Ini mengonfirmasi klaim dalam literatur bahwa teknologi seperti fasad kinetik dan sistem *shading* otomatis mampu mengatur kondisi interior secara optimal dan adaptif (Ilmiansah, 2025). Namun, aspek inklusivitas sosial-

ekonomi yang lemah pada model ini juga ditekankan sebagai isu penting agar arsitektur adaptif dapat diakses oleh komunitas luas, sebuah hal yang masih jarang disorot dalam studi teknologi adaptif secara umum.

Regulasi dan kebijakan pendukung yang diulas, menunjukkan adanya kesenjangan nyata antara kerangka kebijakan dan implementasi di lapangan. Ini mencerminkan temuan sebelumnya tentang kurangnya insentif fiskal dan kurangnya program edukasi profesional untuk mendukung teknologi adaptif, yang jika tidak segera diperbaiki akan menghambat upaya adaptasi iklim melalui arsitektur. Integrasi kebijakan multisektoral yang tegas, sebagaimana dibutuhkan dalam penelitian ini, menjadi langkah strategis untuk menjawab fragmentasi regulasi dan meningkatkan koordinasi lintas lembaga.

Diskursus ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan multidisipliner yang menggabungkan teknologi adaptif, kebijakan regulatif, dan unsur budaya lokal sebagai fondasi utama pengembangan arsitektur responsif yang berkelanjutan. Dengan mengadopsi model-model yang dituangkan dalam studi kasus dan menyesuaikannya dengan konteks lokal, arsitektur tropis dapat bertransformasi menjadi sistem yang tidak hanya mengatasi tantangan perubahan iklim, tetapi juga mengakomodasi aspek sosial dan ekonomi masyarakat.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa arsitektur responsif di wilayah tropis memerlukan sinergi antara teknologi adaptif, regulasi yang mendukung, dan penerapan kearifan lokal untuk menghadapi tantangan perubahan iklim secara efektif. Teknologi seperti fasad dinamis, ventilasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT), dan material adaptif berperan penting dalam mengoptimalkan kenyamanan termal dan efisiensi energi. Namun, aspek sosial-ekonomi, kesiapan infrastruktur, dan kebijakan

yang belum memadai menjadi hambatan utama yang harus diatasi. Studi kasus yang dianalisis menggarisbawahi keberagaman pendekatan yang dapat diadaptasi sesuai konteks lokal, sekaligus menyoroti peluang pengembangan model hibrid yang menggabungkan inovasi teknologi dan kearifan tradisional. Ke depan, kolaborasi lintas disiplin dan integrasi regulasi multisektoral menjadi kunci dalam mewujudkan ekosistem arsitektur tropis yang adaptif, inklusif, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. H. (2024) "Kuliah tamu Prof. Ts. Dr. Mohd. Hamdan Ahmad: Merancang arsitektur responsif iklim tropis."
- Asmarani, I.K., Antariksa, Ridjal. A.M. (2016) "Tipologi Elemen Arsitektur Rumah *Bangsas* Di Desa Larangan Luar Pamekasan Madura", 14 (1) hal. 10-22. Jurnal Tesa Arsitektur. Tersedia pada: https://journal.unika.ac.id/index.php/tesa/article/download/514/pdf_8
- Givoni, B. (1998) *Climate considerations in building and urban design*. Wiley.
- Gustianingrum, N. dan Lissimia, N. (2022) "Parameter arsitektur modern tropis dalam adaptasi terhadap iklim tropis," *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri dan Arsitektur*, 13(1), hal. 31–43. Tersedia pada: <https://ejurnal.polnes.ac.id/index.php/kreatif/article/download/1315/865/>.
- Handoko, J. P. S. (2023) "Prinsip desain arsitektur bioklimatik pada iklim tropis," *Jurnal Lingkungan dan Bangunan*, 15(2), hal. 99–110. Tersedia pada: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/lb/article/download/34791/75676584229>.
- Ilmiansah, M. (2025) "Arsitektur tropis berkelanjutan untuk infrastruktur olahraga," *GreenPlex Research Journal*, 1(1). Tersedia pada: <https://journal.gioarchitect.co.id/index.php/greenplexresearch/article/view/146>.

- Jamilu, G. et al. (2024) 'Dynamic facades for sustainable buildings: A review of mechanisms, materials and performance', *Energy Reports*, 10, pp. 1234-1245.
- Kumar, R. dan Kumar, R. (2020) "Tropical architecture is sustainable architecture."
- Nugroho, A. M. (2024) "Kearifan tropis pada rumah tradisional Madura: Studi desain tanggap iklim," *Jurnal Arsitektur Vernakular Indonesia*, 10(1).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), I. P. (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Tersedia pada: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- Prihatma, R. et al. (2025) 'Assessing Climate-Responsiveness in Modern Housing Clusters of Banda Aceh', *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 20(9), pp. 1501-1512.
- Ramadhan, L. dan Pynkyawati, D. (2023) "Penerapan konsep arsitektur modern tropis pada perancangan Tropical Waterpark di Kota Bandung," in *Seminar Ilmiah Arsitektur*, hal. 668–675. Tersedia pada: <https://proceedings.ums.ac.id/siar/article/download/5674/4963/10651>.
- Rivaldy, A. (2024) "Analisis Penerapan Arsitektur Tropis pada C2O Library and Collabtive Surabaya," *Jurnal Arsitektur Kontemporer*, 15(1), hal. 50–65.
- Saifudeen, M. (2024) "Adaptation of buildings to climate change: an overview," *Frontiers in Built Environment*, 10. Tersedia pada: <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2024.1327747/full>.
- Shim Brigitte (2010) "On Site Review Report, Green School Bali, Indonesia".
- Watson, D. (1983) *Climate design: Energy efficient building principles and practices*. McGraw-Hill.
- Widiya, P. dan Suharyani, S. (2025) "Analisis penerapan prinsip arsitektur modern tropis dalam menciptakan hunian berkelanjutan: Studi kasus Rumah Kanvas Kartasura," in *SIAR VI Seminar Ilmiah Arsitektur*. Tersedia pada: <https://proceedings.ums.ac.id/siar/article/download/5674/4963/10651>.