Studi Komparasi Penerapan Arsitektur Bioklimatik pada Bangunan Bertingkat Tinggi di Daerah Iklim Tropis

Tracce Marquita Reza Angelica[1], Yusvika Ratri Harmunisa[2]
[1, 2] Program Studi Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Indonesia
Email: [1]22051010005@student.upnjatim.ac.id [2]yusvika.ratri.ar@upnjatim.ac.id

Abstract. *Indonesia has a tropical climate characterized by relatively high air temperatures, significant humidity levels, and strong solar radiation throughout the year. These conditions directly affect thermal comfort within buildings and drive increased energy consumption, particularly for artificial cooling needs. Such challenges require an architectural approach that can adapt to climatic conditions. One relevant approach is bioclimatic architecture, which designs buildings in harmony with the local climate through the application of passive strategies, including building orientation, cross-ventilation, shading elements, and appropriate material selection. This study analyzes the implementation of bioclimatic architectural principles in three high-rise buildings located in the tropical region of Southeast Asia: Robinson Tower and Punggol Waterway Terrace in Singapore, as well as Menara Mesiniaga in Malaysia. The focus of the research is directed at high-rise building typologies (over eight floors or higher than 20 meters), which are commonly found in urban areas and possess significant potential for passive design strategies. The research method employs a qualitative descriptive approach with a comparative study, conducted through literature review, analysis of architectural documents, and visual observation using photographs and Google Street View. The findings highlight that the integrated application of bioclimatic architectural principles particularly optimal building orientation, the use of high-insulation materials, and effective natural ventilation significantly contributes to improving energy efficiency and enhancing thermal comfort in high-rise buildings within Indonesia's tropical climate.*
Keywords: *bioclimatic architecture, high-rise building, tropical climate, comparative study*

Abstrak. *Indonesia memiliki iklim tropis dengan ciri utama suhu udara relatif tinggi, tingkat kelembaban signifikan, serta paparan radiasi matahari yang kuat sepanjang tahun. Kondisi ini secara langsung memengaruhi kenyamanan termal dalam bangunan dan mendorong meningkatnya konsumsi energi, terutama untuk kebutuhan pendinginan buatan. Tantangan tersebut menuntut adanya pendekatan arsitektur yang mampu merespons kondisi iklim secara adaptif. Salah satu pendekatan yang relevan adalah arsitektur bioklimatik, yaitu perancangan bangunan yang menyesuaikan diri dengan iklim setempat melalui penerapan strategi pasif, antara lain pengaturan orientasi bangunan, ventilasi silang, pemanfaatan elemen peneduh, serta pemilihan material yang tepat. Penelitian ini menganalisis penerapan prinsip arsitektur bioklimatik pada tiga bangunan tinggi di kawasan tropis Asia Tenggara, yakni Robinson Tower dan Punggol Waterway Terrace di Singapura, serta Menara Mesiniaga di Malaysia. Fokus kajian diarahkan pada tipologi bangunan bertingkat tinggi (lebih dari delapan lantai atau ketinggian di atas 20 meter) yang banyak dijumpai di kawasan urban dan memiliki potensi besar untuk penerapan strategi pasif. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan studi komparatif melalui kajian literatur, analisis dokumen arsitektural, serta observasi visual berbasis foto dan Google Street View.*

Hasil penelitian menegaskan bahwa penerapan prinsip arsitektur bioklimatik yang terintegrasi terutama melalui orientasi bangunan yang optimal, penggunaan material berinsulasi tinggi, dan ventilasi alami yang efektif berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi sekaligus kenyamanan termal pada bangunan tinggi di iklim tropis Indonesia.
Kata Kunci: *arsitektur bioklimatik, bangunan bertingkat tinggi, iklim Tropis, studi komparatif*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis basah yang memiliki curah hujan tinggi dan musim kemarau yang singkat, sehingga suhu dalam ruangan bangunan sering kali meningkat tanpa penanganan khusus. Kondisi ini menyebabkan banyak bangunan di Indonesia sangat bergantung pada pendingin buatan seperti AC, yang akhirnya mendorong konsumsi energi dan emisi karbon semakin tinggi. Untuk mengatasi tantangan tersebut, penerapan strategi efisiensi energi melalui desain arsitektur yang menyesuaikan dengan iklim lokal sangat dibutuhkan (Effendy & Silviana, 2021; Iqbal et al., 2024; Saliim & Satwikasari, 2024).

Salah satu solusi yang relevan adalah arsitektur bioklimatik, yakni pendekatan desain yang memanfaatkan potensi lingkungan seperti orientasi bangunan, ventilasi silang, penggunaan *shading*, serta pemilihan material yang tepat untuk menciptakan kenyamanan termal secara alami tanpa banyak intervensi mekanis (Givoni, 1998; Watson & Labs, 1983). Pada bangunan bertingkat tinggi di iklim tropis, penerapan strategi ini perlu disesuaikan dengan tantangan seperti kecepatan angin dan paparan matahari yang lebih besar, misalnya dengan ventilasi vertikal, fasad ganda, dan vegetasi vertikal (Mohammad Shuhaimi et al., 2022; Yeang, 1999). Namun, implementasinya masih sering terkendala oleh faktor teknis, biaya, dan pemahaman pengembang (Hildayanti & Wasilah, 2022).

Penelitian ini bertujuan membandingkan penerapan prinsip arsitektur bioklimatik pada tiga bangunan bertingkat tinggi di kawasan tropis, yaitu Robinson Tower dan Punggol Waterway Terrace di Singapura, serta Menara Mesiniaga di Malaysia. Ketiga bangunan ini dipilih karena terletak di wilayah beriklim tropis lembab, yang ditandai dengan kelembaban tinggi, curah hujan melimpah, dan paparan matahari intens sepanjang tahun. Meskipun ketiga bangunan sama-sama berada di kawasan tropis basah, masing-masing memiliki kondisi tapak dan lingkungan berbeda yang memengaruhi penerapan strategi desainnya. Robinson Tower berada di pusat kota Singapura dengan konteks urban padat, keterbatasan ruang terbuka, serta tekanan tinggi terhadap efisiensi energi. Punggol Waterway Terrace terletak di kawasan perumahan tepi kanal dengan akses terhadap ruang hijau dan potensi penghawaan alami yang lebih besar. Sementara itu, Menara Mesiniaga berdiri di kawasan pinggiran dengan kepadatan bangunan lebih rendah, sehingga memiliki fleksibilitas lebih dalam pemanfaatan ventilasi silang dan integrasi vegetasi.

Perbedaan konteks ini menunjukkan bahwa meskipun berada pada iklim serupa, strategi bioklimatik yang diterapkan pada setiap bangunan tidak dapat disamakan begitu saja. Oleh karena itu, diperlukan kajian komparatif untuk mengidentifikasi strategi desain pasif yang paling relevan dan dapat diadaptasi dalam konteks pembangunan gedung tinggi di Indonesia.

1.1 Arsitektur Bioklimatik Pada Daerah Tropika Basah (*Warm Humid Climate Region*)

Daerah tropika basah dicirikan oleh suhu tinggi, kelembaban udara yang sangat tinggi sepanjang tahun, serta curah hujan yang signifikan. Kondisi ini menimbulkan tantangan tersendiri dalam mendesain bangunan agar tetap nyaman secara termal tanpa bergantung pada pendingin buatan. Arsitektur bioklimatik hadir sebagai solusi dengan menyesuaikan bangunan terhadap kondisi iklim lokal melalui strategi pasif (Givoni, 1998; Yeang et al., 1994). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ventilasi silang, perangkat peneduh, dan material alami dapat menurunkan suhu ruang secara signifikan serta mengurangi konsumsi energi hingga 40% (Oleiwi & Mohamed, 2023). Selain itu, sistem vegetasi vertikal juga terbukti efektif menurunkan suhu permukaan bangunan dan mengurangi beban energi pendinginan (Mohammad Shuhaimi et al., 2022).

Dalam konteks iklim tropis basah, prinsip-prinsip utama arsitektur bioklimatik menurut Handoko & Ikaputra (2019) meliputi: (1) meminimalkan intensitas paparan sinar matahari langsung dan mengurangi perolehan panas dari radiasi matahari. (2) mengoptimalkan ventilasi alami serta meningkatkan pendinginan pasif bangunan. (3) mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif. (4) memanfaatkan ruang semi-*outdoor* atau transisional. (5) memperkuat hubungan bangunan dengan lanskap (Handoko & Ikaputra, 2019). Pemanfaatan vegetasi di sekitar bangunan juga berperan penting, karena dapat membantu menurunkan suhu mikroklimat, meningkatkan kelembaban alami, menciptakan naungan, serta memperbaiki kualitas udara.

Dengan menerapkan prinsip-prinsip tersebut, arsitektur bioklimatik tidak hanya menghasilkan bangunan yang hemat energi dan ramah lingkungan, tetapi juga menciptakan ruang hidup yang sehat dan adaptif terhadap tantangan iklim tropika basah (Chen Austin et al., 2020; Handoko & Ikaputra, 2019; Mohammad Shuhaimi et al., 2022).

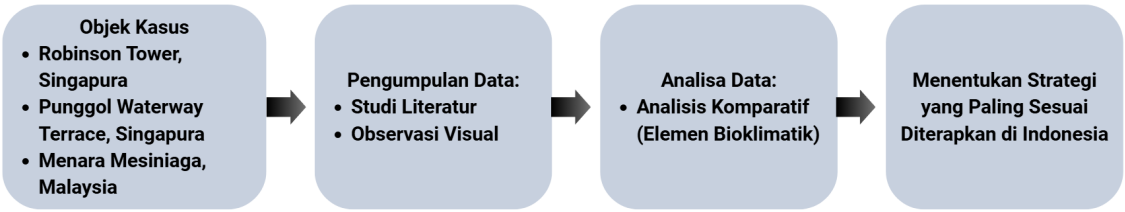
1.2 Bangunan Bertingkat Tinggi di Iklim Tropis

Bangunan bertingkat tinggi di kawasan tropis menghadapi tantangan yang tidak sederhana, terutama akibat paparan sinar matahari yang sangat kuat dan perubahan tekanan angin pada ketinggian di atas 20 meter. Kondisi ini menyebabkan peningkatan panas yang masuk ke permukaan bangunan, sehingga kebutuhan energi untuk pendinginan pun meningkat secara signifikan (Yeang et al., 1994). Yeang (1994) menekankan pentingnya penerapan prinsip arsitektur bioklimatik, seperti fasad ganda yang berfungsi sebagai isolator panas dan jalur sirkulasi udara alami, serta taman gantung (*sky gardens*) yang membantu menurunkan suhu dan memperbaiki kualitas udara. Strategi lain yang penting adalah orientasi bangunan yang tepat, ventilasi silang yang efisien, dan pemilihan material dengan sifat insulasi termal yang baik untuk mengurangi perpindahan panas dan meningkatkan kenyamanan termal (Hyde, 2013; Ng, 2009; Yeang et al., 1994)

Penelitian terbaru mendukung efektivitas strategi ini, dengan bukti bahwa sistem vegetasi vertikal dan fasad ganda dapat menurunkan suhu permukaan bangunan hingga 6°C dan mengurangi konsumsi energi pendinginan secara signifikan (Mohammad Shuhaimi et al., 2022). Integrasi elemen abiotik dan biotik dalam desain bangunan tidak hanya menghemat energi, tetapi juga meningkatkan kualitas lingkungan hunian yang sehat dan memberikan kenyamanan bagi pengguna, sehingga sangat relevan untuk diterapkan pada bangunan bertingkat tinggi di iklim tropis perkotaan, termasuk Indonesia (Mohammad Shuhaimi et al., 2022).

2. Metodologi

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif kualitatif melalui pendekatan studi komparatif untuk menganalisis implementasi prinsip arsitektur bioklimatik pada Robinson Tower dan Punggol Waterway Terrace di Singapura, serta Menara Mesiniaga di Malaysia. Data dikumpulkan melalui kajian pustaka, analisis dokumen arsitektural, serta observasi visual berupa foto dan video. Analisis difokuskan pada identifikasi dan evaluasi elemen-elemen bioklimatik seperti meminimalkan intensitas paparan sinar matahari langsung dan mengurangi perolehan panas dari radiasi matahari, mengoptimalkan ventilasi alami serta meningkatkan pendinginan pasif bangunan, mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif, memanfaatkan ruang semi-*outdoor* atau transisional, serta memperkuat hubungan bangunan dengan lanskap. Seluruh strategi desain pasif tersebut dibandingkan efektivitasnya dalam konteks iklim tropis, untuk menentukan pendekatan yang paling sesuai diterapkan di Indonesia. Validitas data dijamin melalui proses triangulasi, yaitu dengan membandingkan hasil observasi visual, dokumen arsitektural, dan temuan literatur guna memastikan keakuratan dan konsistensi analisis.



Gambar 1. Diagram Metoda

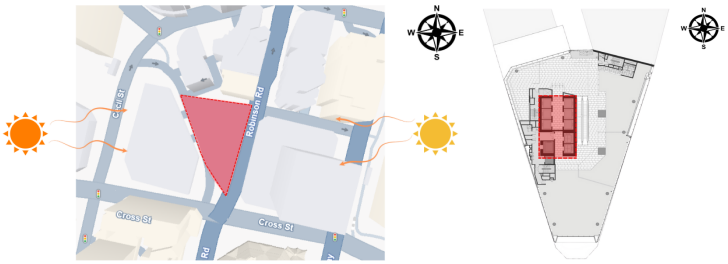
3. Hasil & Diskusi/ Pembahasan

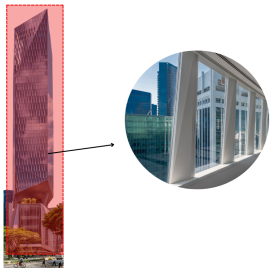
Penelitian ini mengkaji tiga bangunan bertingkat tinggi di iklim tropika basah yang menerapkan prinsip arsitektur bioklimatik, yaitu Robinson Tower dan Punggol Waterway Terrace di Singapura, serta Menara Mesiniaga di Malaysia. Pembahasan dilakukan dengan mencocokkan implementasi prinsip desain pasif yang dijelaskan dalam tinjauan pustaka dengan penerapan nyata pada bangunan-bangunan tersebut.

3.1 Meminimalkan Intensitas Paparan Sinar Matahari Langsung dan Mengurangi Perolehan Panas dari Radiasi Matahari

Salah satu prinsip utama arsitektur bioklimatik pada iklim tropika basah adalah meminimalkan paparan langsung sinar matahari pada permukaan bangunan. Prinsip ini bertujuan agar kenyamanan suhu ruang dan pengunaan energi yang lebih efisien dapat di optimalkan dengan mengurangi panas berlebih yang disebabkan oleh paparan sinar matahari secara langsung. Untuk meminimalkan intensitas paparan sinar matahari langsung dan mengurangi perolehan panas dari radiasi matahari, bangunan sebaiknya diorientasikan memanjang ke arah Utara Selatan guna menghindari paparan langsung dari matahari pagi dan sore. Strategi ini didukung dengan penerapan elemen pelindung seperti *overhang*, kanopi, kisi-kisi vertikal maupun horizontal yang berfungsi sebagai perisai terhadap radiasi langsung. Penggunaan warna terang dan material reflektif pada permukaan luar bangunan juga dianjurkan untuk memantulkan panas matahari.

Tabel 1. Komparasi strategi desain untuk meminimalkan intensitas paparan sinar matahari langsung dan mengurangi perolehan panas dari radiasi matahari

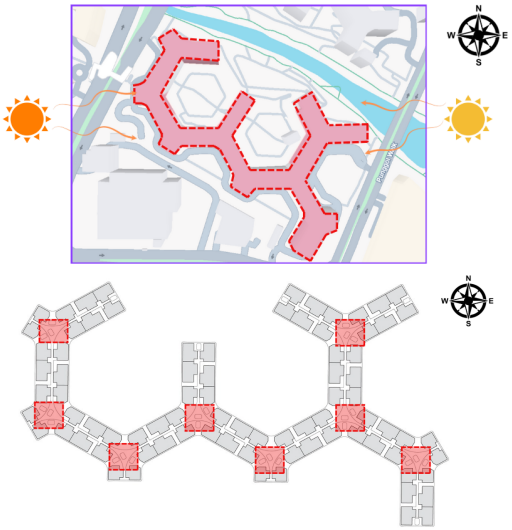
No.	Bangunan	Strategi Desain
1.	Robinson Tower, Singapura	 **Gambar 2. Orientasi bangunan dan letak *core* Robinson Tower, Singapura** Bangunan Menghadap Barat dan Timur. Namun, letak core di sisi Barat dapat membantu mereduksi radiasi matahari langsung. Posisi *service core* sangat penting dalam merancang sebuah bangunan bertingkat tinggi. *Service core* tidak sekadar berfungsi sebagai bagian struktur, melainkan juga memiliki peran dalam meningkatkan kenyamanan termal bangunan. Penempatan *core* pada bagian bangunan yang menerima radiasi panas matahari paling dominan, seperti di sisi Barat dan Timur, bertujuan agar panas matahari terutama terserap oleh area *core*. Dengan demikian, kenaikan suhu pada ruang-ruang utama yang digunakan penghuni dapat diminimalkan, sehingga kebutuhan energi untuk pendinginan juga dapat ditekan.



Gambar 3. Fasad Robinson Tower, Singapura

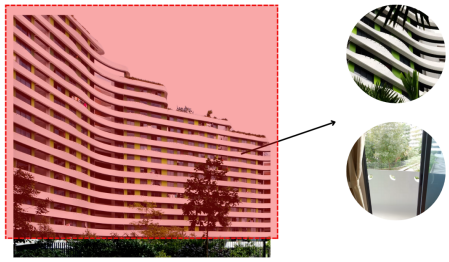
Mengaplikasikan material *glass curtain wall* dan tidak menggunakan *secondary skin* yang berarti sinar matahari langsung mengenai selubung bangunan. Ini tidak selaras dengan prinsip meminimalkan perolehan panas dan justru meningkatkan *heat gain*.

2. Punggol Waterway Terrace, Singapura



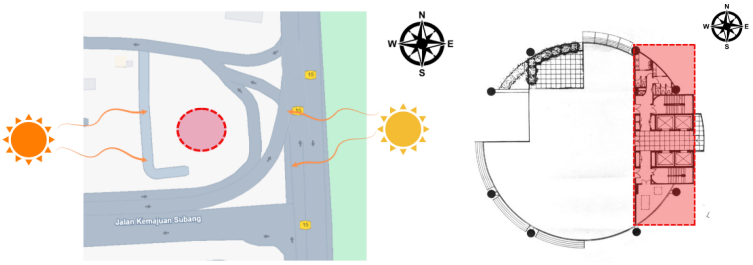
Gambar 4. Orientasi bangunan dan letak *core* Punggol Waterway Teracce, Singapura

Massa bangunan memiliki bentuk balok persegi panjang yang diatur secara heksagonal, dengan sisi terpanjang menghadap ke arah Utara-Selatan, Timur Laut-Barat Daya, serta Barat Laut-Tenggara. Orientasi ini efektif untuk meredam paparan langsung cahaya matahari. *Core* Bangunan terletak pada setiap titik pertemuan sudut.



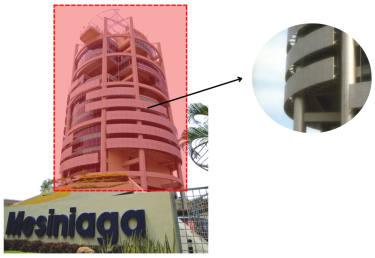
Gambar 5. Fasad Punggol Waterway Teracce, Singapura

Bangunan dilengkapi balkon mengelilingi di setiap lantai yang berfungsi sebagai penghambat panas sekaligus elemen peneduh pasif. Bentuk fasad bergelombang dari kantilever atau pagar balkon menciptakan bayangan yang menambah kesejukan dan mengurangi perolehan panas dalam ruang.

3.	Menara Mesiniaga, Malaysia	

Gambar 6. Orientasi bangunan dan letak *core* Menara Mesiniaga, Malaysia

Massa Bangunan berbentuk lingkaran dengan area entrance menghadap Barat. *Core* servis terletak di sisi Timur bangunan dan berfungsi untuk menangkal panas. Penempatan ini sejalan dengan prinsip menempatkan *core* pada bagian yang terkena radiasi dominan untuk mengurangi panas ke ruang lainnya.



Gambar 7. Fasad Menara Mesiniaga, Malaysia

Fasad berfungsi sebagai *filter* melalui penggunaan *louver* dan elemen peneduh untuk mengurangi sinar matahari langsung. Taman di teras turut bertindak sebagai tirai alami pada dinding Utara dan Selatan, secara efektif meminimalkan intensitas radiasi dan perolehan panas.

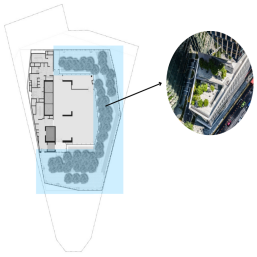
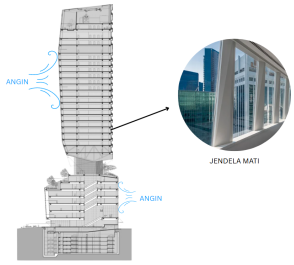
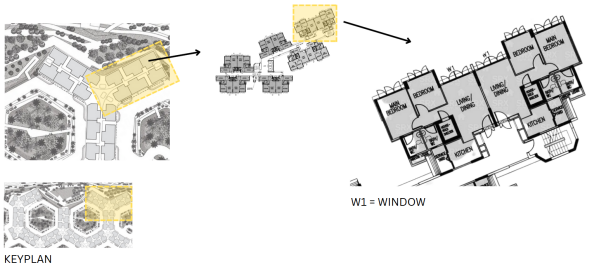
Berdasarkan tabel 1 disimpulkan bahwa Robinson Tower kurang optimal dalam mengurangi *heat gain* pasif karena orientasi bangunan menghadap ke arah Barat dan Timur dengan penggunaan *glass curtain wall* tanpa *secondary skin*. Berbeda dengan itu, Punggol Waterway Terrace dan Menara Mesiniaga lebih efektif, dimana Punggol memanfaatkan orientasi massa bangunan yang menghadap Utara-Selatan dan balkon sebagai peneduh pasif , sementara Menara Mesiniaga menggunakan *core* servis di sisi Timur, *louver*, elemen peneduh, dan taman teras untuk meminimalkan paparan matahari dan perolehan panas.

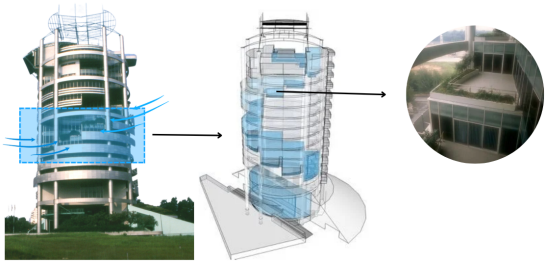
3.2 Mengoptimalkan Ventilasi Alami dan Meningkatkan Pendinginan Pasif Bangunan

Dalam konteks desain arsitektur bioklimatik pada iklim tropis basah, ventilasi alami memegang peranan sentral dalam menjaga kenyamanan termal dan efisiensi energi bangunan. Ventilasi alami berperan penting dalam menciptakan kenyamanan termal pada bangunan di iklim tropis basah melalui pendekatan pasif. Prinsip ini bertujuan untuk memaksimalkan aliran udara alami dan mempercepat pelepasan panas, sehingga ruang dalam tetap sejuk tanpa bantuan sistem mekanis.

Untuk mengoptimalkan ventilasi alami dan meningkatkan pendinginan pasif, ventilasi silang dapat diwujudkan melalui penempatan bukaan yang saling berhadapan pada sisi berlawanan bangunan. Selain itu, penerapan ventilasi vertikal melalui *void* atau atrium akan memungkinkan terciptanya efek cerobong yang mempercepat aliran udara dari bawah ke atas. Orientasi bangunan yang memperhatikan arah angin dominan akan meningkatkan efektivitas ventilasi alami. Elemen seperti jalusi, ventilasi atap, dan kisi-kisi juga turut membantu mengatur dan memperlancar sirkulasi udara dalam ruang.

Tabel 2. Komparasi strategi desain untuk mengoptimalkan ventilasi alami dan meningkatkan pendinginan pasif bangunan

No.	Bangunan	Strategi Desain
1.	Robinson Tower, Singapura	 **Gambar 8. Strategi Robinson Tower, Singapura untuk meningkatkan pendinginan pasif bangunan** Terdapat penanaman vegetasi pada *inner-court* atau balkon dan ruang terbuka di podium yang membantu menurunkan suhu dan meningkatkan kualitas udara, namun tidak terdapat kolam air yang dimanfaatkan untuk menambah tingkat kelembapan udara dan *cooling effect*.  **Gambar 9. Ventilasi pada Robinson Tower, Singapura** Pada bangunan ini, ventilasi alami tidak dioptimalkan karena tidak digunakannya "jendela hidup" sebagai sistem sirkulasi udara, melainkan bergantung pada selubung *glass curtain wall*. Meskipun terdapat balkon pada podium yang berfungsi sebagai area taman dan dapat menjadi jalur masuk udara, ketiadaan ventilasi silang aktif yang dihasilkan oleh jendela hidup merupakan suatu kekurangan dalam desain bioklimatiknya.
2.	Punggol Waterway Terrace, Singapura	 **Gambar 10. Layout kamar pada Punggol Waterway Terrace, Singapura**  **Gambar 11. Ventilasi pada kamar Punggol Waterway Terrace, Singapura**

		Menggunakan ventilasi alami berupa jendela *sliding*. Arah seluruh ventilasi dari bangunan ini mengarah ke ruang terbuka seperti taman. Udara sejuk dari taman menjadi sumber penghawaan alami yang baik, mengurangi penggunaan energi listrik dari AC.
		
		Gambar 12. Layout dan view lantai dasar Punggol Waterway Terrace, Singapura
		Pada lantai dasar dikonsep sangat terbuka dan terintegrasi dengan lingkungan, sehingga memiliki banyak bukaan ke arah taman. Integrasi tanaman, pohon, dan semak-semak membuat bangunan lebih sejuk dan asri, mendukung efek pendinginan pasif.
3.	Menara Mesiniaga, Malaysia	
		Gambar 13. Strategi Menara Mesiniaga, Malaysia untuk meningkatkan pendinginan pasif bangunan
		Bangunan ini menggunakan *large skycourts* pada fasadnya yang melingkari bangunan dari bawah sampai ke atas untuk memanfaatkan udara luar sebagai penghawaan alami dan mengurangi panas matahari. Konsep ini menunjukkan upaya untuk "menghidupkan" fasad bangunan melalui elemen alami dan bukaan besar.

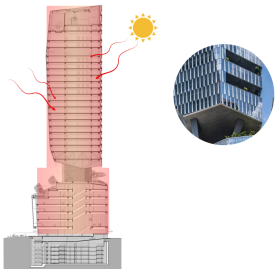
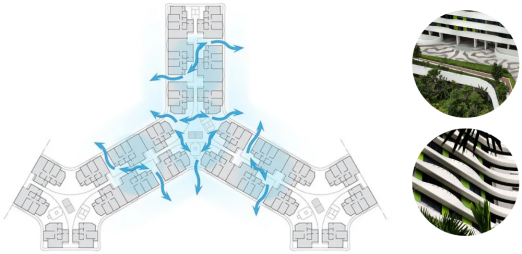
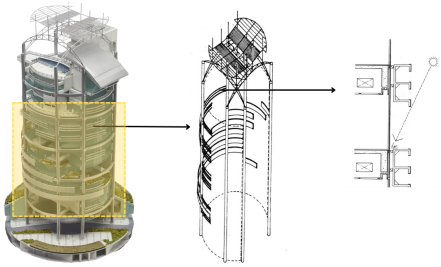
Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa Robinson Tower kurang optimal dalam mengurangi *heat gain* pasif karena penggunaan *glass curtain wall* tanpa "jendela hidup", meskipun ada vegetasi di *inner-court* atau balkon yang membantu menurunkan suhu dan meningkatkan kualitas udara. Berbeda dengan itu, Punggol Waterway Terrace lebih efektif karena memanfaatkan ventilasi alami jendela *sliding* yang mengarah ke taman, serta desain lantai dasar yang terbuka dan terintegrasi dengan lansekap untuk pendinginan pasif. Sementara itu, Menara Mesiniaga menggunakan *large skycourts* pada fasadnya untuk penghawaan alami dan mengurangi panas matahari, menunjukkan upaya "menghidupkan" fasad melalui elemen alami dan bukaan besar.

3.3 Mengurangi Perpindahan Panas Konduktif dan Konvektif

Salah satu prinsip utama arsitektur bioklimatik pada iklim tropika basah adalah mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif. Prinsip ini bertujuan untuk menghambat masuknya panas melalui material dan aliran udara, guna menjaga kenyamanan termal ruang dalam secara pasif. Strategi untuk mengurangi perpindahan panas secara konduktif dan konvektif mencakup penggunaan material bangunan dengan konduktivitas termal rendah, seperti dinding

berongga atau bahan isolasi. Selain itu, fasad ganda dapat diterapkan untuk menciptakan lapisan udara sebagai penghalang panas.

Tabel 3. Komparasi strategi desain untuk mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif

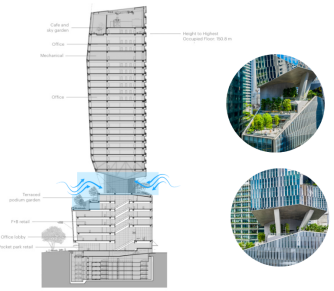
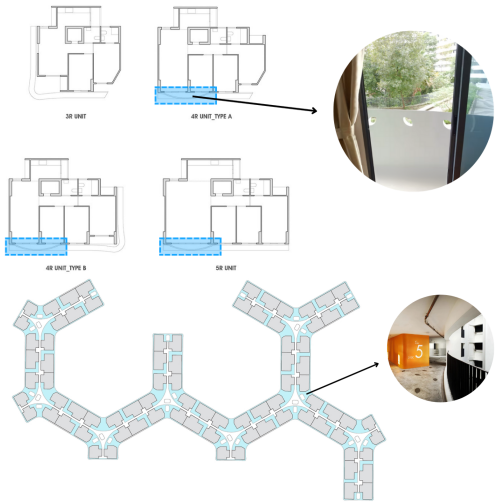
No.	Bangunan	Strategi Desain
1.	Robinson Tower, Singapura	 **Gambar 14. Strategi desain Robinson Tower, Singapura untuk mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif** Penggunaan material *glass curtain wall* pada bangunan ini dinilai tidak optimal dalam menghambat *transfer* panas. Hal ini diperparah dengan tidak adanya indikasi penggunaan bahan penyerap panas yang secara sengaja dihindari atau permukaan reflektif yang luas pada dinding. Oleh karena itu, prinsip ini tidak sepenuhnya diterapkan.
2.	Punggol Waterway Terrace, Singapura	 **Gambar 15. Strategi desain Punggol Waterway Terrace, Singapura untuk mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif** Desain fasad dan bukaan pada bangunan ini memprioritaskan pendinginan pasif dengan memaksimalkan ventilasi silang dan sirkulasi udara alami. Arah aliran udara yang ditunjukkan oleh panah biru menegaskan pentingnya ventilasi silang yang optimal. Kemudian, deretan balkon bergelombang dan *overhang* berfungsi sebagai peneduh untuk mengurangi radiasi matahari langsung dan perpindahan panas konduktif, sementara bukaan di kedua sisi bangunan memungkinkan panas terbuang secara efisien melalui proses konveksi, sehingga kenyamanan termal tercapai tanpa bantuan sistem mekanis.
3.	Menara Mesiniaga, Malaysia	 **Gambar 16. Strategi desain Menara Mesiniaga, Malaysia untuk mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif** Desain fasad yang berfungsi sebagai *filter* dan penghalang panas menunjukkan upaya mengurangi perpindahan panas.

Hasil komparasi dalam mengurangi perpindahan panas konduktif dan konvektif, terdapat perbedaan signifikan antar bangunan. Robinson Tower dinilai tidak optimal karena penggunaan *glass curtain wall* yang kurang menghambat transfer panas dan minimnya indikasi penggunaan bahan penyerap panas atau permukaan reflektif yang luas. Sebaliknya, Punggol Waterway Terrace memprioritaskan pendinginan pasif melalui desain fasad dan bukaan yang terfokus , sementara Menara Mesiniaga juga berupaya mengurangi perpindahan panas dengan desain fasad yang berfungsi sebagai *filter* dan penghalang panas.

3.4 Memanfaatkan Ruang *Semi Outdoor* atau Transisional

Pemanfaatan ruang *semi outdoor* atau transisional, seperti selasar, teras, dan balkon, menjadi bagian penting dalam memperhalus transisi antara ruang luar dan dalam serta mengurangi beban panas langsung ke ruang utama. Keberadaan *void* dan taman dalam (*courtyard*) membantu memperlancar sirkulasi udara dan cahaya alami, serta menciptakan efek pendinginan mikroklimat. Atap terbuka atau taman atap juga dapat digunakan untuk meredam panas dari radiasi matahari sekaligus menyediakan ruang hijau tambahan.

Tabel 4. Komparasi strategi desain untuk memanfaatkan ruang *semi outdoor* atau trasnsisional

No.	Bangunan	Strategi Desain
1.	Robinson Tower, Singapura	 **Gambar 17. Balkon pada Robinson Tower, Singapura** Terdapat ruang-ruang kosong dan balkon di podium yang berfungsi sebagai ruang transisional dan *semi outdoor*.
2.	Punggol Waterway Terrace, Singapura	 **Gambar 18. Teras pada Punggol Waterway Terrace, Singapura** Terdapat balkon dan teras jelas berfungsi sebagai ruang *semi outdoor* yang menjadi penyangga termal dan jalur sirkulasi.

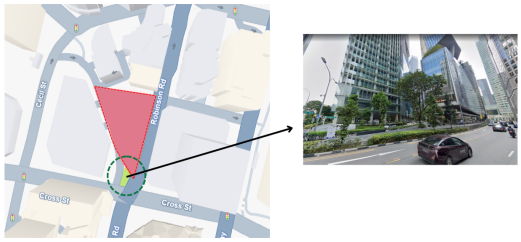
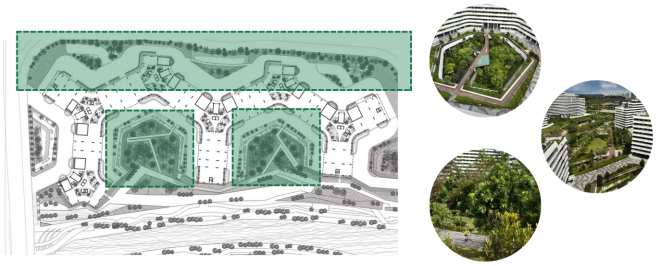
3.	Menara Mesiniaga, Malaysia	 **Gambar 19. Balkon pada Menara Mesiniaga, Malaysia** Terdapat taman pada teras yang dapat dianggap sebagai ruang *semi outdoor* yang terintegrasi, yang berkontribusi pada penyangga termal.

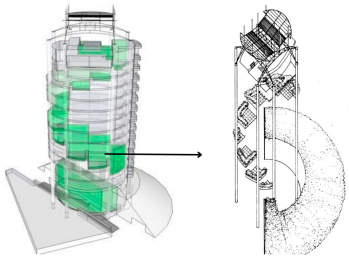
Hasil komparasi ketiga bangunan tinggi yang dikaji menunjukkan konsistensi dalam pemanfaatan ruang transisional dan semi-*outdoor* untuk mendukung desain bioklimatik. Robinson Tower memiliki ruang kosong dan balkon di podiumnya yang berfungsi ganda sebagai ruang transisional dan semi-*outdoor*. Punggol Waterway Terrace secara eksplisit menggunakan balkon dan teras sebagai ruang semi-*outdoor* yang bertindak sebagai penyangga termal sekaligus jalur sirkulasi. Demikian pula, Menara Mesiniaga mengintegrasikan taman pada terasnya sebagai ruang semi-outdoor yang berkontribusi pada penyangga termal bangunan.

3.5 Hubungan Bangunan dengan Lanskap

Hubungan bangunan dengan lanskap menjadi kunci dalam menciptakan kenyamanan termal secara alami. Penataan vegetasi di sekitar bangunan, khususnya pohon rindang di sisi Timur dan Barat, mampu menurunkan suhu lingkungan secara signifikan. Kehadiran elemen air seperti kolam atau permukaan basah berperan sebagai penyejuk mikroklimat melalui mekanisme pendinginan evaporatif. Integrasi bangunan dengan topografi dan vegetasi lokal mendukung terciptanya kesatuan antara arsitektur dan alam, sekaligus menurunkan beban energi bangunan.

Tabel 5. Komparasi prinsip hubungan bangunan dengan lanskap

No.	Bangunan	Strategi Desain
1.	Robinson Tower, Singapura	 **Gambar 20. Taman depan pada Robinson Tower, Singapura** Terdapat taman di depan gedung dan integrasi ruang terbuka dengan lingkungan sekitar menunjukkan hubungan yang baik dengan lanskap.
2.	Punggol Waterway Terrace, Singapura	 **Gambar 21. Taman pada Punggol Waterway Terrace, Singapura**

		Pada sekitar bangunan terdapat banyak taman, mengintegrasikan tanaman yang membantu memperbaiki iklim mikro.
3.	Menara Mesiniaga, Malaysia	 **Gambar 22. Lanskap vertikal pada Menara Mesiniaga, Malaysia** Terdapat lansekap vertikal yang melilit bangunan menunjukkan hubungan yang kuat antara bangunan dan lanskap, mendukung perbaikan iklim mikro dan pendinginan.

Hasil komparasi ketiga bangunan menunjukkan komitmen terhadap integrasi elemen alami untuk mendukung iklim mikro yang lebih baik. Robinson Tower memiliki taman di depan gedung dan integrasi ruang terbuka dengan lingkungan sekitar, menunjukkan hubungan yang baik dengan lanskap. Pada Punggol Waterway Terrace di sekitar bangunan terdapat banyak taman dan mengintegrasikan tanaman yang membantu memperbaiki iklim mikro. Sementara itu, Menara Mesiniaga memiliki lansekap vertikal yang melilit bangunan, menunjukkan hubungan yang kuat antara bangunan dan lanskap, serta mendukung perbaikan iklim mikro dan pendinginan.

3.6 Tabel Hasil Komparasi

Tabel 6. Hasil Komparasi prinsip bioklimatik pada bangunan di iklim tropika basah

No.	Prinsip Bioklimatik	Robinson Tower, Singapura	Punggol Waterway Terrace, Singapura	Menara Mesiniaga, Malaysia
1.	Meminimalkan Intensitas Paparan Sinar Matahari Langsung dan Mengurangi Perolehan Panas dari Radiasi Matahari	✗	✓	✓
2.	Mengoptimalkan Ventilasi Alami dan Meningkatkan Pendinginan Pasif Bangunan	✗	✓	✓
3.	Mengurangi Perpindahan Panas Konduktif dan Konvektif	✗	✓	✓
4.	Memanfaatkan Ruang Semi Outdoor atau Transisional	✓	✓	✓
5.	Hubungan Bangunan dengan Lanskap	✓	✓	✓

Berdasarkan hasil komparasi, strategi desain bioklimatik pada Punggol Waterway Terrace di Singapura dan Menara Mesiniaga di Malaysia sangat efektif dan relevan untuk diterapkan di Indonesia, mengingat keduanya berlokasi di iklim tropis basah yang serupa. Punggol Waterway Terrace unggul dalam meminimalkan paparan sinar matahari langsung melalui orientasi massa yang efektif dan penggunaan balkon sebagai peneduh pasif, mengoptimalkan ventilasi alami dengan jendela *sliding* dan bukaan ke arah taman, serta mengurangi perpindahan panas dengan desain fasad dan bukaan yang berfokus pada pendinginan

pasif. Menara Mesiniaga juga menunjukkan efektivitas tinggi dalam meminimalkan paparan matahari dengan penempatan *core* servis di sisi Timur dan penggunaan *louver* serta taman teras sebagai *filter*, serta mengoptimalkan ventilasi alami melalui *large skycourts*. Kedua bangunan juga konsisten dalam memanfaatkan ruang semi-*outdoor*/transisional dan mengintegrasikan hubungan bangunan dengan lanskap untuk mendukung iklim mikro yang lebih baik. Sementara itu, Robinson Tower kurang optimal dalam berbagai aspek bioklimatik karena penggunaan *glass curtain wall* tanpa *secondary* skin dan ketiadaan "jendela hidup" yang membatasi ventilasi alami dan peningkatan *heat gain*.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membandingkan implementasi prinsip-prinsip bioklimatik dalam arsitektur pada tiga bangunan bertingkat tinggi di kawasan tropis basah, yaitu Robinson Tower dan Punggol Waterway Terrace di Singapura serta Menara Mesiniaga di Malaysia. Hasil analisis menunjukkan bahwa Punggol Waterway Terrace dan Menara Mesiniaga mampu menerapkan strategi desain pasif secara lebih menyeluruh dan kontekstual dibandingkan Robinson Tower. Kedua bangunan tersebut tidak hanya menunjukkan kemampuan dalam meminimalkan paparan langsung sinar matahari melalui orientasi massa dan elemen peneduh seperti balkon, *louver*, dan taman atap, tetapi juga mengintegrasikan ventilasi alami secara efektif dengan memanfaatkan bukaan silang, *void*, dan *skycourts*. Selain itu, penggunaan material yang mampu meredam perpindahan panas serta kehadiran ruang semi-*outdoor* dan lanskap alami memberikan kontribusi nyata untuk mewujudkan kenyamanan termal secara alami tanpa mengandalkan sistem pendingin mekanis.

Dari ketiga studi kasus yang dikaji, dapat disimpulkan bahwa sejumlah pendekatan desain memiliki potensi kuat untuk diadaptasi pada bangunan tinggi di Indonesia. Beberapa di antaranya adalah orientasi bangunan yang memperhitungkan arah matahari dan angin dominan, penempatan core di sisi yang menerima radiasi tinggi untuk menahan panas, serta penggunaan balkon atau kisi sebagai pelindung fasad yang sekaligus menjadi ruang penyangga termal. Selain itu, penerapan ventilasi silang yang langsung mengarah ke ruang terbuka seperti taman atau *void* terbukti mampu meningkatkan sirkulasi udara alami. Elemen tambahan seperti ruang semi terbuka (selasar, teras, taman atap) dan integrasi lanskap vertikal maupun horizontal turut memperkaya performa iklim mikro bangunan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, terlihat bahwa arsitektur bioklimatik bukan hanya sebuah pendekatan desain, melainkan bentuk adaptasi cerdas terhadap tantangan iklim. Penerapan strategi-strategi tersebut dapat menjadi pijakan penting dalam merancang bangunan bertingkat tinggi yang tidak hanya hemat energi, tetapi juga lebih selaras dengan kondisi alam tropis Indonesia sebuah langkah nyata menuju arsitektur yang lebih berkelanjutan dan berempati terhadap lingkungan.

Referensi

Chen Austin, M., Castillo, M., De Mendes Da Silva, Á., & Mora, D. (2020). Numerical Assessment of Bioclimatic Architecture Strategies for Buildings Design in Tropical Climates: A Case of Study in Panama. *E3S Web of Conferences*, *197*, 1–10. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019702006

Effendy, A., & Silviana, M. (2021). KAJIAN LITERATUR KONSEP GREEN BUILDING PADA BANGUNAN TROPIS. *ARSITEKNO*, *8*, 11–16. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29103/arj.v8i1.3687

Fachry, M., & Satwikasari, A. (2022). *KAJIAN KONSEP ARSITEKTUR BIOKLIMATIK PADA BANGUNAN KANTOR ROBINSON TOWER SINGAPURA*. https://doi.org/https://doi.org/10.24853/purwarupa.6.1.41-48

Fahri, M. F., & Satwikasari, A. F. (2023). KAJIAN KONSEP ARSITEKTUR BIOKLIMATIK PADA BANGUNAN PUNGGOL WATERWAY TERRACE, SINGAPURA. *AGORA:Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Arsitektur Usakti*, *20*(2), 259–272. https://doi.org/10.25105/agora.v20i2.13681

Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Wiley. https://books.google.co.id/books?id=MGkArZ_berAC

Handoko, J., & Ikaputra. (2019). Prinsip Desain Arsitektur Bioklimatik Pada Iklim Tropis. *Langkau Betang: Jurnal Arsitektur*, *6 No. 2*, 87–100. https://doi.org/10.26418/lantang.v6i2.34791

Hildayanti, A., & Wasilah. (2022). PENDEKATAN ARSITEKTUR BIOKLIMATIK SEBAGAI BENTUK ADAPTASI BANGUNAN TERHADAP IKLIM. *Nature: National Academic Journal of Architecture*, *9*(1), 29–41. https://doi.org/10.24252/nature.v9i1a3

Hyde, R. (2013). *Climate Responsive Design*. Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9781315024905

Iqbal, M., Atthaillah, A., Safyan, A., Indriani, L., & Sina, A. M. (2024). Kenyamanan Termal pada Bangunan Berventilasi Alami di Iklim Tropis. *Nature: National Academic Journal of Architecture*, *11*(2), 152–163. https://doi.org/10.24252/nature.v11i2a3

Martínez-Martínez, J. E., Álvarez Rabanal, F. P., Lázaro, M., Alonso-Martínez, M., Alvear, D., & Del Coz-Díaz, J. J. (2021). Assessment of lightweight concrete thermal properties at elevated temperatures. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(21), 1–18. https://doi.org/10.3390/app112110023

Mohammad Shuhaimi, N. D. A., Mohamed Zaid, S., Esfandiari, M., Lou, E., & Mahyuddin, N. (2022). The impact of vertical greenery system on building thermal performance in tropical climates. *Journal of Building Engineering*, *45*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103429

Ng, E. (Ed.). (2009). *Designing High-Density Cities*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781849774444

Oleiwi, M. Q., & Mohamed, M. F. (2023). The Impacts of Passive Design Strategies on Building Indoor Temperature in Tropical Climate. *Pertanika Journal of Science and Technology*, *31*(1), 83–108. https://doi.org/10.47836/pjst.31.1.06

Saliim, A. M., & Satwikasari, A. F. (2024). STUDY OF MODERN TROPICAL ARCHITECTURAL DESIGN CONCEPT IN VERTICAL RESIDENCE. *BORDER*, *4*(1), 65–82. https://doi.org/10.33005/border.v4i1.90

Sujatini, S., Fadhilah Qolby, N., Dewi, E. P., Persada, U., & Yai, I. (2022). *Penerapan Arsitektur Bioklimatik Pada Menara Mesiniaga, Rumah Misol, dan Kos Keputih*. https://doi.org/https://doi.org/10.37817/ikraith-teknologi.v6i3.2308

Watson, D., & Labs, K. (1983). *Climatic Design: Energy-efficient Building Principles and Practices*. McGraw-Hill. https://books.google.co.id/books?id=6URSAAAAMAAJ

Yeang, K. (1999). *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings*. Prestel. https://books.google.co.id/books?id=QRpUAAAAMAAJ

Yeang, K., Balfour, A., & Richards, I. (1994). *Bioclimatic Skyscrapers*. Ellipsis. https://books.google.co.id/books?id=GwdUAAAAMAAJ