



# Analisis *Sun Hours* Dalam Desain Bangunan Tropis Menggunakan Simulasi 3D: Studi Kasus Pada Periode Ekuinoks dan Solstis

Dui Buana Mustakima<sup>a,1</sup>, Nike<sup>a,2</sup>, Cahyani<sup>a,3</sup>, Nurul Hikmah<sup>a,4</sup>, Isti Nugroho<sup>a,5</sup>

<sup>a</sup> Prodi S1 Arsitektur, Jurusan Teknik Arsitektur, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

<sup>1</sup> duibuanamustakima@untad.ac.id; <sup>2</sup> nikedyah@untad.ac.id; <sup>3</sup> cahyanisuhardi@untad.ac.id

<sup>4</sup> nurulhikmah@untad.ac.id; <sup>5</sup> isti.nugroho@untad.ac.id;

Submitted: January 07, 2025 | Revised: February 09, 2025 | Accepted: March 05, 2025

## ABSTRACT

Thermally comfortable tropical building designs must respond to sunlight exposure. Detailed data on the duration of sunlight exposure during the equinox and solstice periods is still limited. This study aims to analyze sunlight exposure during the equinox and solstice periods. The research was conducted using the Forma application, a 3D simulation product. The results show that the roof receives the highest sunlight exposure, reaching 9 hours per day during the equinox, while some areas of the building facade only receive exposure for less than 1 hour per day during the solstice. These findings provide important insights into the optimization of shading design and energy efficiency in tropical buildings. This research has a positive impact on architectural knowledge, demonstrating that simulation-based design can be used in creating sustainable tropical buildings

**Keywords:** Solar exposure, 3D simulation, tropical buildings, energy efficiency.

This is an Open-Access article distributed under the CC-BY-SA license



## PENDAHULUAN

Sun hours adalah salah satu faktor alam yang sangat penting dalam kehidupan manusia maupun lingkungan [1]. Durasi paparan sinar matahari menjadi parameter yang cukup penting dalam arsitektur tropis. Hal ini karena merupakan variabel yang memiliki pengaruh besar terhadap pencahayaan alami, efisiensi dan kenyamanan thermal [2] [3]. Tantangan utama dari penelitian yang berkaitan dengan *sun hours* adalah intensitas dan distribusi yang berubah karena pengaruh posisi matahari, musim karakteristik lingkungannya [4]. Distribusi dari paparan sinar matahari yang tidak merata berpengaruh negatif pada desain, seperti overheating di beberapa area dan kurangnya pencahayaan alami di area lainnya [5]

Penelitian terdahulu telah menunjukkan pentingnya pencahayaan alami dalam meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal. [6] menyebutkan bahwa pencahayaan alami yang optimal dapat mengurangi kebutuhan pencahayaan buatan dan pendinginan. membahas dampak urban heat island terhadap peningkatan kebutuhan energi untuk pendinginan di wilayah tropis. [4] menekankan pengaruh overshadowing pada efisiensi energi bangunan, sementara [7] menguraikan bagaimana desain fasad dan tata letak memengaruhi konsumsi energi. [8] menyarankan optimalisasi shading melalui simulasi untuk mengurangi panas berlebih tanpa mengorbankan pencahayaan alami. [9]. Namun penelitian-penelitian ini tidak spesifik membahas tentang distribusi paparan sinar matahari terutama pada periode ekuinoks dan solstis. Penelitian ini berfokus untuk menjelaskan kesenjangan tersebut dengan menggunakan simulasi 3D berbasis Forma untuk menganalisis pola distribusi paparan sinar matahari secara detail selama periode ekuinoks dan solstis.

Hipotesis dalam penelitian ini adalah bahwa dengan menganalisis distribusi paparan sinar matahari menggunakan aplikasi Forma dapat memberikan temuan distribusi yang optimal untuk

kenyamaan thermal dan efisiensi energi. Melalui penelitian ini pengaruh bentuk, orientasi, dan shading dapat teridentifikasi dengan baik.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan. Yang pertama penelitian ini bertujuan untuk enganalisis distribusi paparan sinar matahari pada bangunan tropis selama periode ekuinoks dan solstis menggunakan simulasi berbasis Forma dan dampak yang diberikan. Lalu, penelitian ini dapat memberikan rekomendasi desain yang mendukung efisiensi energi dan kenyamanan termal pada bangunan tropis berdasarkan hasil simulasi.

## METODE

### *Lokasi dan Objek Penelitian*

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Palu yang secara iklim tropis memiliki paparan sinar matahari yang tinggi. Hal ini menjadikannya sebagai lokasi yang tepat untuk dipelajari. Gedung arsitektur pada fakultas Teknik di Universitas Tadulako menjadi objek penelitian utama untuk dilakukan analisis *sun hours*. Fokus terhadap lokasi selaras dengan penelitian sebelumnya yang menakan bahwa pentingnya analisis site-specific dalam desain arsitektur tropis (Priyadarsini Rajagopalan, Kee Chuan Lim, and Elmira Jamei 2014).

### *Simulasi Forma*

Simulasi dilakukan pada periode ekuinoks dan solstis serta pada periode jam tertentu untuk memperoleh distribusi pada sinar matahari yang lebih detail. Tanggal tanggal yang dipilih pada penelitian ini adalah 22 Agustus, 21 September, 21 Oktober, 21 Desember, 21 Januari yang dianggap mewakilki periode equinox. Waktu simulasi berlangsung dari pukul 07.00 hingga 17.00, mengikuti standar praktik dalam analisis durasi paparan sinar matahari ([6], [8] Parameter yang akan dianalisis adalah distribusi durasi paparan sinar matahari dalam jam dan area yang terpapar berdasarkan kategori waktu paparan (0–1 jam, 1–2 jam, dst.), sebagaimana direkomendasikan oleh studi [6] menganai dampak sinar matahari terhadap efisiensi energi bangunan.

### *Analisis Data*

Analisis data dilakukan untuk mengidentifikasi luas area yang terpapar sinar matahari berdasarkan kategori durasi paparan dalam meter persegi. Perhitungan juga mencakup persentase area dengan paparan sinar matahari  $>9$  jam dan 0–1 jam, yang dianggap penting untuk memahami distribusi panas dan pencahayaan alami (Christina and Marialena 2016) Distribusi sinar matahari dianalisis selama periode equinox dan solstis untuk mendapatkan pola yang lebih detail, selaras yang disarankan oleh [4] agar mendapatkan hasil yang lebih optimal terutama pada desain bangunan tropis.

### *Alat Simulasi*

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi. Data yang terkumpul diinput ke dalam aplikasi Forma untuk analisis lebih mendalam. Forma, sebelumnya dikenal sebagai Spacemaker, dirancang mendukung untuk nalisis aspek spasial dalam lingkungan urban. Aplikasi ini dapat memberikan hasil analisis yang detail dan mudah dimengerti melalui kemampuan visualnya. Variebel yang menjadi analisis dapat durasi paparan (*sun hours*), dampak bayangan, dan peta warna 3D, yang membuatnya ideal untuk penelitian distribusi sinar matahari pada bangunan tropis [10]

### *Fitur Utama Forma*

Penelitian ini menggunakan fitura utama yaitu sun hour Analysis. Fitur ini didukung oleh beberapa fitur lainnya seperti Color mapping dan Shading Impact Analysis. Fitur Color Mapping dapat membantu untuk memperlihatkan degradasi warna yang menunjukkan tingkat paparan. dari rendah ke tinggi. Fitur pertama adalah Sun Hours Analysis, yang memungkinkan analisis durasi paparan sinar matahari pada setiap elemen bangunan berdasarkan jam dalam sehari, sebagaimana dijelaskan dalam panduan Autodesk. Fitur kedua adalah 3D Visualization,

yang menggunakan peta warna (color mapping) untuk menunjukkan area dengan paparan rendah hingga tinggi. Fitur Shading Impact Analysis adalah fitur yang dapat menilai dampak bayangan dari bangunan sekitar terhadap area yang sedang diteliti [10].

### **Proses Simulasi di Forma**

Proses simulasi dimulai dengan mengimpor model 3D bangunan ke dalam aplikasi Forma. Parameter seperti lokasi, waktu, dan orientasi dimasukkan untuk menjalankan analisis. Aplikasi secara otomatis menghitung durasi paparan sinar matahari pada setiap elemen bangunan, termasuk atap, fasad, dan area lain yang terekspos sinar matahari, yang memberikan hasil visualisasi rinci untuk mendukung pengambilan keputusan desain [7]

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **A. Temuan Utama**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan mengalami paparan sinar matahari lebih dari 9 jam per hari sepanjang tahun, dengan persentase mencapai 70% pada bulan Juni, Agustus, Oktober, dan Desember. Temuan ini sejalan dengan penelitian Gago et al. (2015), yang menyebutkan bahwa wilayah tropis cenderung memiliki durasi paparan matahari yang tinggi, terutama pada bulan-bulan tertentu. Pada periode tersebut, paparan singkat (0–1 jam) berada di kisaran 10%, sesuai dengan pola distribusi yang dilaporkan oleh (Priyadarsini Rajagopalan, Kee Chuan Lim, and Elmira Jamei 2014).

Terjadi sedikit perubahan pada bulan-bulan tertentu. Pada bulan September, durasi paparan lebih dari 9 jam menurun menjadi 65%, sementara paparan singkat berkurang menjadi 5%. Pola distribusi sinar matahari pada bulan ini lebih merata di seluruh fasad bangunan. Sebaliknya, pada bulan-bulan lainnya, atap dan fasad selatan mendominasi paparan, sebagaimana dijelaskan oleh Kumar et al. (2018), yang mencatat bahwa fasad yang langsung menghadap lintasan matahari menerima paparan tertinggi. Pengecualian terjadi pada bulan Agustus, di mana fasad timur memiliki paparan dominan.

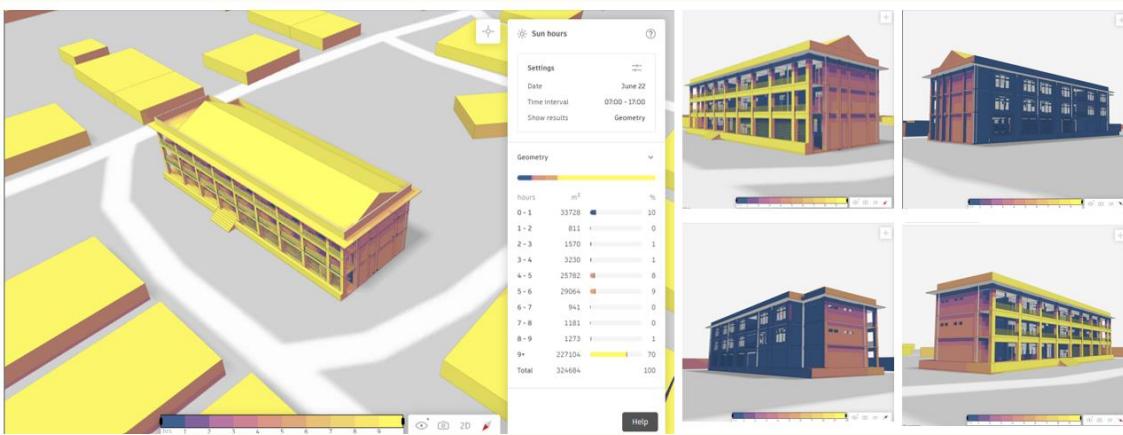
**Tabel. 1.** Durasi dan Pola Distribusi Paparan Sinar Matahari

Bulan	Paparan >9 Jam	Paparan 0–1 Jam	Fasad yang Mendominasi Paparan
22 Juni	70%	10%	Atap dan fasad selatan
22 Agustus	70%	10%	Atap dan fasad timur
21-Sep	65%	5%	Distribusi merata di semua fasad
21 Oktober	70%	10%	Atap dan fasad selatan
21 Desember	70%	10%	Atap dan fasad selatan

### **B. Hasil seimulasi sun hours per periode**

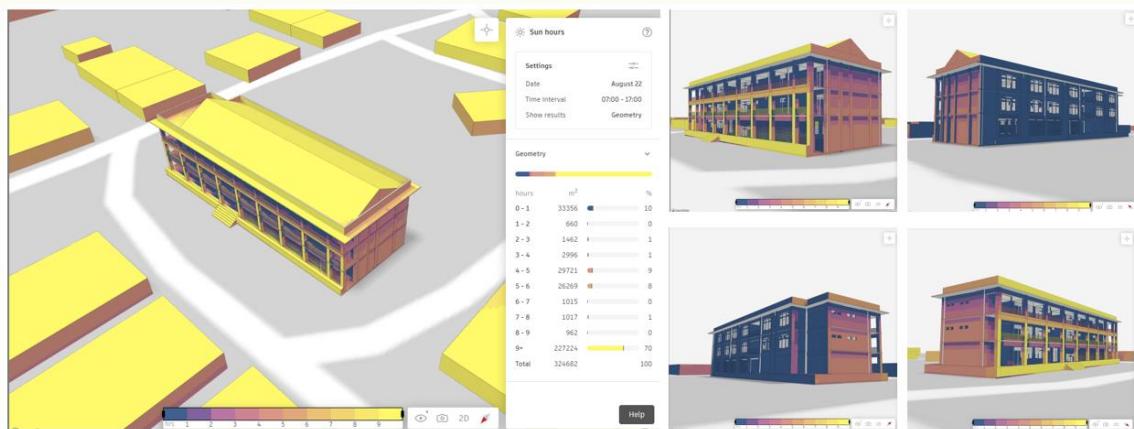
Simulasi pada tanggal 22 Agustus memiliki beberapa kecenderungan. Area yang terkena paparan sinar matahari lebih dari 9 jam adalah 227.224 m<sup>2</sup> (70%), menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan menerima intensitas sinar matahari yang tinggi. Temuan ini sejalan dengan penelitian [6] yang menekankan bahwa wilayah tropis memiliki paparan sinar matahari yang signifikan pada sebagian besar bagian bangunan. Di sisi lain, Area yang terpaparan sinar matahari selama 0–1 jam masih cukup besar, yaitu 33.356 m<sup>2</sup> (10%). Area ini sebagian besar berada di area bawah bayangan bangunan, seperti yang telah dikukakan oleh [7], yang mengaitkan hal ini dengan posisi matahari dan pengaruh elemen *shading*. Bulan Agustus merupakan masa transisi dari musim panas di belahan bumi utara ke musim hujan di Indonesia. Posisi matahari condong dari utara menyebabkan sisi selatan bangunan lebih terbayangi. Dengan demikian hal ini mendukung pola bayangan yang dijelaskan oleh [5]





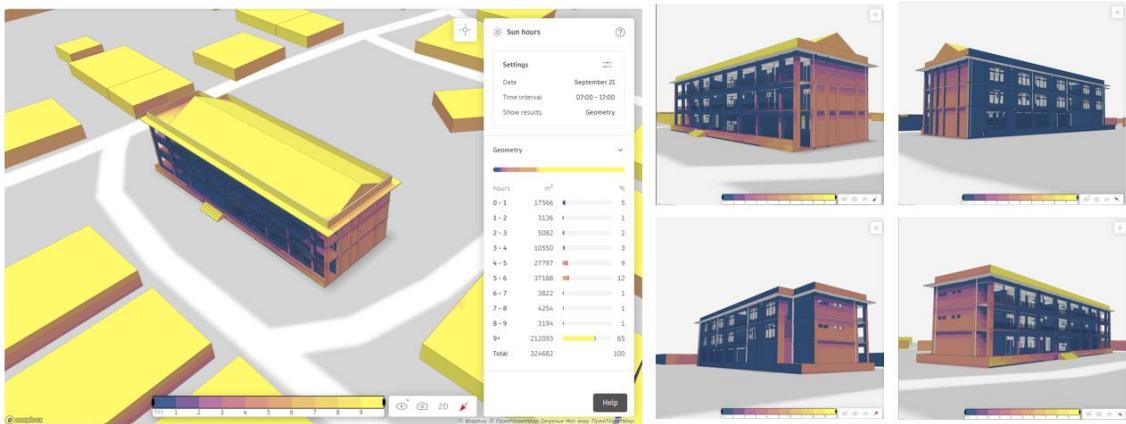
Gambar. 1. Simulasi Tanggal 22 Agustus

Simulasi kedua dilakukan pada tanggal 21 september. Hasil simulasi menunjukkan bahwa area dengan paparan sinar matahari lebih dari 9 jam adalah 212.093 m<sup>2</sup> (65%), yang menunjukkan sedikit penurunan dibandingkan bulan Agustus. Penurunan ini sejalan dengan penelitian [7], yang menyebutkan bahwa distribusi sinar matahari dapat bervariasi tergantung pada waktu dalam setahun dan posisi matahari. Area dengan paparan rendah (0–1 jam) juga berkurang menjadi 17.556 m<sup>2</sup> (5%), menunjukkan distribusi sinar matahari yang lebih merata pada periode ini. Pada equinox, posisi matahari tepat di atas khatulistiwa, menciptakan distribusi sinar matahari yang lebih merata di seluruh sisi bangunan. Temuan ini mendukung studi (E.J. Gago et al. 2014), yang menyatakan bahwa posisi matahari saat equinox memungkinkan analisis optimal untuk memahami performa desain tanpa efek signifikan dari sudut datang matahari.



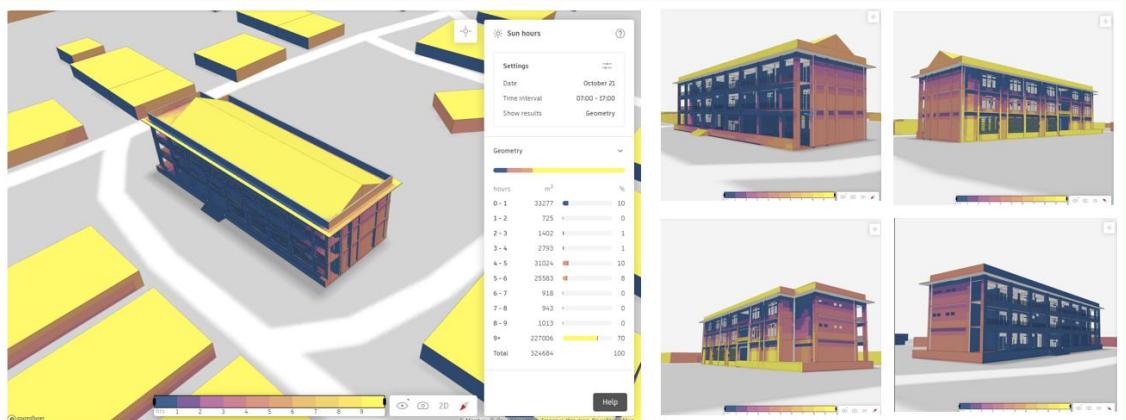
Gambar. 2. Simulasi tanggal 21 september

Pada bulan Agustus dan Oktober, area yang terpapar sinar matahari lebih dari 9 jam tetap stabil di sekitar 227.006 m<sup>2</sup> (70%), sementara area dengan paparan sinar matahari rendah (0–1 jam) mengintervensi sebesar 33.277 m<sup>2</sup> (10%). Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, seperti yang diungkapkan oleh [6] dan [4] yang menunjukkan bahwa wilayah tropis memiliki pola distribusi sinar matahari yang konsisten dan dipengaruhi oleh pergerakan matahari secara musiman. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa bangunan ini mengalami paparan sinar matahari yang tinggi pada sebagian besar bagiannya, dengan fluktuasi bayangan yang sesuai dengan pergerakan matahari sepanjang tahun.



Gambar. 3. Simulasi Tanggal 21 Oktober

Simulasi pada bulan Desember, menghasilkan area bangunan yang terpapar sinar matahari lebih dari 9 jam tetap dominan, mencakup sekitar 227.003 m<sup>2</sup> (70%), sementara area dengan paparan rendah (0-1 jam) mencatatkan luas 33.834 m<sup>2</sup> (10%), yang sedikit meningkat dibandingkan bulan Oktober. Distribusi ini mencerminkan paparan sinar matahari yang tinggi pada sebagian besar elemen bangunan. Hal ini sejalan dengan temuan yang menungkapkan bahwa bangunan di wilayah tropis cenderung menerima paparan sinar matahari yang signifikan hampir sepanjang tahun. Pada solstis Desember, posisi matahari yang berada di atas *Tropic of Capricorn* menyebabkan sisi selatan bangunan mendapatkan paparan sinar matahari maksimal, sementara sisi utara lebih banyak terhalang bayangan. Hal ini mendukung hasil penelitian [5] yang menunjukkan bahwa pergerakan musiman matahari mempengaruhi distribusi bayangan dan panas pada bangunan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa paparan sinar matahari pada bulan desember memiliki kecenderungan tersendiri.



Gambar. 4. Simulasi Tanggal 21 Desember (Solstis Selatan)

Bangunan tropis cenderung menerima paparan sinar matahari yang stabil sepanjang tahun [6]. Hal ini tercermin dari area yang terpapar lebih dari 9 jam, yang mencapai 226.964 m<sup>2</sup> (70%). Sementara itu, area dengan paparan rendah (0-1 jam) sedikit berkurang menjadi 33.701 m<sup>2</sup> (10%). Pada bulan Januari, posisi matahari yang berada di belahan bumi selatan menyebabkan sisi selatan bangunan menerima sinar matahari maksimal, sementara sisi utara terhalang bayangan, sesuai dengan temuan [5]. Ini menunjukkan bahwa distribusi sinar matahari pada bangunan dipengaruhi oleh pergerakan musiman matahari.



Gambar. 5. Simulasi Tanggal 21 Januari

### C. Analisis penyebab dan dampak Sun hours

#### Overheating dan Pemanfaatan Cahaya Alami Area dengan Paparan Tinggi (>9 Jam)

Simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa terdapat paparan sinar matahari selama 9 jam sebesar 70%. Temuan ini sangat potensial untuk kemudian dapat dimanfaatkan sebagai pencahayaan alami, selaras yang disampaikan oleh [6], yang menyatakan bahwa pencahayaan alami dapat secara signifikan mengurangi konsumsi energi jika dikelola dengan baik. Tetapi, paparan tinggi ini juga berpotensi terhadap *overheating*, seperti yang sampaikan oleh dengan temuan [5] yang menyoroti bahwa paparan sinar matahari berlebihan dapat menyebabkan peningkatan beban pendinginan. Sebagai upaya untuk menanggapi hal ini disarankan menggunakan *shading devices* seperti kisi-kisi, kanopi, atau material reflektif pada area dengan paparan tinggi untuk meminimalkan dampak panas berlebih. [8] memberikan rekomendasi yang dapat dijadikan solusi melalui penggunaan elemen *shading* dan material reflektif sebagai solusi yang efektif untuk mengurangi *overheating* tanpa mengorbankan pencahayaan alami.

#### Area dengan Paparan Rendah (0-1 Jam)

Hasil penelitian pada area paparan dengan 0-1 jam. Area ini mencakup 10% dari bangunan terutama di sisi utara selama solstis selatan dan di area yang terhalang bayangan bangunan sekitar. Kekurangan cahaya alami di area ini meningkatkan kebutuhan pencahayaan buatan, sebagaimana yang telah sampaikan oleh [7], yang menyampaikan bahwa area yang didominasi bayangan membutuhkan keterlibatan desain untuk mengurangi ketergantungan pada pencahayaan buatan. Selain itu, *overshadowing* menjadi tantangan utama, sebagaimana dinyatakan oleh [4] yang menyebutkan bahwa *overshadowing* di kawasan urban dapat memengaruhi distribusi pencahayaan alami secara signifikan. Untuk mengatasi masalah ini, disarankan menambahkan *skylight* atau bukaan besar, menggunakan material reflektif untuk menyebarkan cahaya alami.

### 1. Pengaruh Orientasi Bangunan

Beberapa sisi bangunan memiliki dampak terhadap paparan tergantung arah orientasinya. Orientasi Timur-Barat, Orientasi bangunan yang memanjang ke arah timur-barat di wilayah tropis berpotensi menghadapi masalah *overheating* yang lebih tinggi karena paparan sinar matahari langsung di pagi dan sore hari, di mana sudut datang sinar matahari cenderung rendah dan intensitas panas lebih tinggi [6]. Sementara itu, Orientasi Utara-Selatan bangunan dengan orientasi utara-selatan lebih optimal untuk wilayah tropis karena distribusi paparan sinar matahari lebih seimbang sepanjang hari, mengurangi intensitas panas langsung di pagi dan sore hari (Priyadarsini Rajagopalan, Kee Chuan Lim, and Elmira Jamei 2014). Kemudian dari sisi Analisa Equinox dan Solstis, Selama equinox, posisi matahari yang berada tepat di atas khatulistiwa menghasilkan distribusi sinar matahari yang merata pada semua sisi bangunan. Namun, pada solstis, sisi utara atau selatan cenderung mendominasi paparan, tergantung pada



pergerakan musiman matahari [4]). Kemudian pada Orientasi Utara-Selatan sebagai Solusi Orientasi utara-selatan di wilayah tropis memungkinkan pengurangan paparan sinar matahari langsung, yang secara signifikan mengurangi risiko overheating dan meningkatkan kenyamanan termal dalam ruangan (Christina and Marialena 2016)

## 2. Implikasi pada Efisiensi Energi

Area dengan paparan sinar matahari 5–9 jam memberikan potensi besar untuk mengurangi kebutuhan pencahayaan buatan, terutama pada siang hari. Hal ini berdampak positif pada efisiensi energi secara signifikan, sebagaimana yang telah disampaikan oleh [6] yang menyampaikan bahwa pentingnya pencahayaan alami dalam mengurangi konsumsi energi. Tetapi, area dengan paparan sinar matahari lebih dari 9 jam berpotensi mengalami overheating, terutama pada atap dan fasad yang terekspos langsung. Kondisi ini dapat meningkatkan konsumsi energi untuk pendinginan, selaras dengan temuan [5] yang menyatakan bahwa overheating pada bangunan tropis sering kali disebabkan oleh paparan sinar matahari intensif di siang hari. Atap dengan paparan tinggi sepanjang tahun juga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai lokasi pemasangan panel surya, seperti yang diuraikan oleh [7] yang menyoroti potensi optimalisasi energi terbarukan pada area dengan paparan maksimal.

## D. Rekomendasi Desain

Beberapa strategi dapat diterapkan untuk mengatasi ketidakseimbangan cahaya pada bangunan. Pertama, gunakan pohon rindang atau vegetasi vertikal untuk menciptakan bayangan alami di area dengan paparan sinar matahari tinggi, sehingga dapat mengurangi panas berlebih. Strategi ini didukung oleh [8] yang menyarankan penggunaan vegetasi sebagai elemen *shading* alami yang efektif. Kedua, tambahkan *skylight* atau jendela besar di area yang teduh untuk meningkatkan pencahayaan alami, sesuai dengan rekomendasi [6] yang menekankan pentingnya *skylight* untuk mendistribusikan cahaya alami secara optimal.

## KESIMPULAN

Temuan utama menunjukkan bahwa distribusi paparan sinar matahari bervariasi secara signifikan antara atap, fasad, dan area terbuka, dengan area tertentu menerima paparan lebih dari 9 jam per hari, sementara yang lain kurang dari 1 jam. Hasil simulasi juga mengungkap bahwa posisi matahari selama equinox menghasilkan distribusi sinar matahari yang lebih merata dibandingkan solstis, memberikan wawasan penting bagi desain bangunan yang hemat energi. Nilai tambah dari penelitian ini adalah penggunaan teknologi simulasi Forma yang mampu memvisualisasikan distribusi paparan dengan presisi tinggi. Analisis dari variasi parameter menunjukkan bahwa orientasi bangunan dan elemen shading memiliki pengaruh besar terhadap durasi paparan sinar matahari.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Visualisasi dari aplikasi forma tidak dapat menampilkan data paparan par sisi bangunan, sehingga setiap periode analisis (pada periode analisis) hanya menampilkan data paparan dari hasil seluruh geometri. Penelitian mendatang disarankan dapat mengakomodir pembagian data per sisi bangunan, sehingga perbedaan data pada setiap sisi dapat dijelaskan dengan baik.

## PENGAKUAN

Saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada rekan-rekan, teman-teman, dan seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini. Saya mengucapkan terimakasih atas dukungan terus-menerus, diskusi konstruktif, dan selalu siap membantu.

## DEKLARASI PENULIS

- Kontribusi Penulis** : Para penulis memberikan kontribusi yang signifikan dalam konsepsi dan desain penelitian. Para penulis bertanggung jawab atas analisis data, interpretasi, dan diskusi hasil. Para

---

<b>Pernyataan Pendanaan</b>	penulis membaca dan menyetujui naskah akhir.
	: Tidak ada penulis yang menerima pendanaan atau hibah dari institusi atau badan pendanaan manapun untuk penelitian ini.
<b>Konflik Kepentingan:</b>	Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.
<b>Informasi Tambahan</b>	: Tidak ada informasi tambahan untuk makalah ini

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shidqi Nur Mubiyn and Nasrul Ilminnafik, "Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari di Wilayah Kabupaten Nganjuk Tahun 2016," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, pp. 20–26, 2024.
- [2] L. M. F. Purwanto, "PEMBAYANGAN MATAHARI DAN PERHITUNGAN PEMBUKAAN DINDING DENGAN SOFTWARE AMETHYST SHADOW-FX," vol. Volume 2, Nov. 2022.
- [3] Tri Harso Karyono, "KENYAMANAN TERMAL DALAM ARSITEKTUR TROPIS," *ReasearchGate*, 2010.
- [4] Rakesh Kumar and S.N. Garg and S.C. Kaushik, "Performance evaluation of multi-passive solar applications of a non air-conditioned building," *Int. J. Environmental Technology and Management*, 2005.
- [5] Priyadarsini Rajagopalan, Kee Chuan Lim, and Elmira Jamei, "Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city," *ScienceDirect*, pp. 159–170, May 2014.
- [6] E.J. Gago, T. Muneer, M. Knez, and Köster, "Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1–13, Jun. 2014.
- [7] C. Christina and Nikolopoulou. Marialena, "Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study," *University of Kent*, Nov. 2016.
- [8] M. Krarti and D. Tuhus-Dubrow, "Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings," *U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information*, pp. 1574–1581, May 2010.
- [9] D. B. Mustakima, Audita Nurul Gamalia, Nadhil Tamimi, and Cahyani, "Evaluasi Pencahayaan Alami pada Bangunan Indekos: Studi Kasus Kos Kita di Kota Kendari," *RUANG: JURNAL ARSITEKTUR*, vol. 1, pp. 38–45, Mar. 2024.
- [10] Autodesk Forma, "Sun hours analysis in Forma."