



Evaluasi Penghawaan dan Pencahayaan Alami pada Desain Gedung Asrama Mahasiswa di Daerah Tropis

Natural Ventilation and Daylighting Evaluation of Student Dormitory Design in Tropic-Equatorial Area

Siti Fatimah, Puteri Fitriaty*, Andi Jiba Rifai Bassaleng

Department of Architecture Engineering, Engineering Faculty, Tadulako University, Palu, Indonesia

*Corresponding author: puteri_fitriaty@yahoo.com; puteri.f@untad.ac.id

Article history

Received: 28 Feb 2024

Accepted: 08 Oct 2024

Published: 30 Oct 2024

Abstract

Result of this study provides the recommendation of thermal and daylighting design strategies implementation in tropical-equatorial area, specifically student dormitory of Tadulako University in Palu Indonesia. This study employed literature, field, and mathematical study to analyses dormitory physical design, as well as thermal and lighting environment. Climatic variables were recorded both internal and external for 3 consecutive days. Result of the study indicated that the condition of Student Dormitory of Tadulako University needs to be improved. This study highlighted that opening area of 30%-50% from the floor area were needed. Furthermore, side-hung and jalousie window with light shelf were recommended for uniform daylighting and optimal air flow.

Keywords: *building ventilation; daylighting; student dormitory design; thermal design; tropic-equatorial area*

Abstrak bahasa Indonesia

Studi ini akan menjadi dasar rekomendasi bagi desain asrama mahasiswa yang mengutamakan strategi penghawaan dan pencahayaan alami di daerah tropis-khatulistiwa. Implementasi strategi desain penghawaan dan pencahayaan alami sangat penting dalam mewujudkan bangunan hemat energi. Penelitian ini menggunakan studi literatur, studi lapangan dan studi matematis untuk mengevaluasi fisik desain asrama, kondisi termal dan pencahayaan alami. Suhu, kelembaban, kecepatan angin dan tingkat pencahayaan diukur di dalam dan di luar asrama. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako perlu ditingkatkan kondisinya. Luas bukaan 30-50% dari luas lantai dengan penggunaan jendela *side-hung*, *krepyak*, dengan rak cahaya sangat direkomendasikan untuk menciptakan pencahayaan yang seragam dan tingkat aliran udara yang optimal.

Kata kunci: penghawaan bangunan; pencahayaan alami; desain asrama mahasiswa; desain lingkungan termal; daerah tropis-katulistiwa

1 PENDAHULUAN

Desain bangunan yang hemat energi memberikan kontribusi dalam mencapai pembangunan berkelanjutan. Banyak penelitian yang membuktikan bahwa penghawaan dan pencahayaan memberikan kontribusi terbanyak terhadap total konsumsi energi suatu bangunan. Penelitian mengenai dampak lingkungan dari siklus hidup gedung asrama mahasiswa di Cina mengindikasikan bahwa konsumsi energi listrik bangunan merupakan kontributor dominan dari hampir semua dampak lingkungan pada siklus hidup gedung asrama universitas (Huang dkk., 2018). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategi desain asrama mahasiswa dengan penerapan prinsip penghawaan dan pencahayaan alami di daerah tropis-ekuator dengan studi kasus Kota Palu Indonesia.

Asrama mahasiswa merupakan salah satu fasilitas tempat tinggal yang disediakan bagi sekelompok mahasiswa dan dapat digunakan pada jangka waktu tertentu selama mahasiswa tersebut menyandang statusnya sebagai mahasiswa. Selama menempuh pendidikan tinggi, mahasiswa dibina agar dapat mengembangkan potensinya agar menjadi insan cendekia yang beriman dan bertakwa berakhlak mulia, sehat, cakap, kreatif, mandiri, terampil, kompeten, dan berbudaya (“Undang-Undang Republik Indonesia No 12 Tentang Pendidikan Tinggi” 2012). Oleh karena itu asrama mahasiswa idealnya dapat menyediakan kondisi tempat tinggal yang sehat, nyaman (Chen, 2017).

Satu di antara beberapa aspek yang mendukung atmosfer belajar dalam sebuah asrama adalah pemenuhan standar fasilitas bangunan asrama mahasiswa serta menciptakan kondisi di dalam bangunan yang nyaman baik secara termal maupun visual. Kondisi lingkungan asrama yang nyaman baik secara termal maupun visual tidak hanya dapat membuat penghuni merasa bahagia namun juga dapat meningkatkan kinerja mahasiswa (Chen, 2017). Peningkatan kinerja mahasiswa akibat kondisi asrama yang nyaman dapat mencapai 0,19 hingga 0,97 dalam indeks prestasi kumulatifnya (de Araujo & Murray, 2010).

Suplai udara segar dan pertukaran udara dalam ruangan yang lancar melalui desain penghawaan alami yang tepat menjadi syarat

mutlak dalam desain asrama (Lubis dkk., 2019) karena dapat menjaga lingkungan asrama yang sehat sehingga dapat meminimalkan penularan penyakit pernafasan di dalam asrama mahasiswa. Studi mengenai penyebaran wabah tuberkulosis di asrama siswa mengindikasikan salah satu penyebabnya adalah desain asrama dengan kondisi penghawaan alami yang minim (Stein-Zamir dkk., 2006).

Pencahayaan merupakan salah satu faktor fisik yang penting dalam desain asrama (Kılıçaslan, 2013) karena berhubungan dengan syarat tingkat pencahayaan pada setiap kegiatan termasuk belajar mandiri atau berkelompok. Penyediaan pencahayaan alami di dalam bangunan memiliki fungsi penting bagi kesehatan (Phillips, 2004) dan kenyamanan visual (Baker & Steemers, 2000).

Desain penghawaan dan pencahayaan alami merupakan salah satu prinsip yang mendukung terciptanya penghematan energi dalam bangunan (Fitriaty dkk., 2017) termasuk desain asrama. Penerapan efisiensi dan konservasi energi di gedung asrama mahasiswa diyakini tidak hanya membimbing perilaku ramah lingkungan, namun juga dapat mencapai tujuan penghematan energi, yang berdampak pada pembangunan berkelanjutan ketika para mahasiswa mulai berperan dalam masyarakat (Du & Pan, 2021).

Desain pencahayaan dan penghawaan alami yang buruk dapat menyebabkan timbulnya beberapa permasalahan kesehatan, kenyamanan, dan peningkatan konsumsi energi pada gedung asrama. Hal ini menyebabkan penghuni asrama sering melakukan penataan kembali kamar tidurnya, hingga memindahkan beberapa aktivitas sehari-hari mereka ke luar ruangan (Khajehzadeh & Vale, 2016).

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mengevaluasi desain asrama berdasarkan aspek fisik desain asrama dengan studi kasus Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako. Dengan bentuk denah yang tebal dan terdiri dari tiga layer ruang, menyebabkan deretan ruangan yang berada pada daerah leeward Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako sulit untuk mencapai kecepatan udara yang diinginkan, dan

menyebabkan penggunaan penghawaan buatan. Dengan adanya hasil evaluasi desain asrama tersebut penelitian ini dapat dijadikan referensi

dalam redesain Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako dengan menerapkan strategi penghawaan dan pencahayaan alami. Penelitian ini juga diyakini dapat menjadi referensi desain asrama mahasiswa di daerah beriklim tropis khususnya dengan kondisi iklim yang mirip dengan iklim Kota Palu.

2 KAJIAN TEKNIS & KAJIAN TEORITIK

2.1 Persyaratan Desain Asrama Mahasiswa

Asrama mahasiswa merupakan bangunan tempat tinggal sementara yang ditujukan bagi kelompok orang yang sedang menjalani pendidikan di sebuah lembaga pendidikan tinggi. Asrama mahasiswa biasanya dilengkapi oleh berbagai fasilitas. Desain asrama mahasiswa memiliki standar minimum fasilitas ruang-ruang yang dibutuhkan (de Chiara & Callender, 1987) antara lain:

- 1) Kamar tidur mahasiswa
- 2) Ruang makan
- 3) Ruang administrasi
- 4) Tempat aktivitas sosial dan rekreasi
- 5) Ruang baca, ruang musik, ruang diskusi, dll
- 6) Sirkulasi
- 7) Ruang pelayanan dan penyimpanan (*service and utility room*)
- 8) Kamar penjaga
- 9) Kamar mandi dan *Toilet/lavatory*
- 10) Ruang fasilitas penunjang lain, seperti warnet, wartel, dll)

Luas kamar tidur asrama mahasiswa dapat didesain berdasarkan 3 standar. Pada kamar tipe *single* luas minimal sebesar 8.4 m², optimal sebesar 10.2 m², dan luas ruang Maksimal 11,2 m². Untuk kamar tipe *double* luas minimal sebesar 13 - 16.7 m², luas optimal sebesar 14.9 - 20.4 m², dan luas maksimal 16.7 - 22.3 m² masing-masing untuk tipe ranjang bertingkat dan tidak bertingkat.

2.2 Tinjauan Desain Penghawaan Alami

Ventilasi alami juga dikenal sebagai ventilasi kenyamanan, yang didasari dari efek psikologis positif dari aliran udara yang mengalir melalui bangunan (Pacheco dkk., 2012). Ventilasi alami adalah proses penyediaan udara segar dari luar bangunan untuk menggantikan volume udara kotor yang ada di dalam ruangan (Liddament

M, 1996). Selain sebagai suplai udara segar, penghawaan alami juga bertujuan untuk pendinginan fisiologis penghuni bangunan, dan dapat menyediakan lingkungan interior yang sehat. Penghawaan alami juga bermanfaat bagi efisiensi energi bagi operasional bangunan (R. Aynsley, 2007; Fitriaty dkk., 2021).

Untuk fungsi residensial, polutan udara yang dominan adalah uap air dan asap (baik asap rokok maupun asap hasil aktivitas memasak). Oleh karenanya pasokan udara segar diperlukan khususnya di ruang keluarga, kamar tidur (Liddament M., 1996) serta ruang makan/dapur.

Aliran udara di sekitar bangunan dapat dipengaruhi oleh 3 faktor utama (R. Aynsley, 2007) yaitu tapak dan bentuk lansekap, bentuk bangunan dan desain selubung bangunan, dan perencanaan dan desain ruang dalam.

1) Tapak dan bentuk lanskap

Kondisi angin di sekitar tapak bangunan dipengaruhi oleh bentuk lanskap/topografi (perbukitan, pegunungan dan lereng curam), elemen penghalang seperti vegetasi dan bangunan di sekitar, dimana kondisi angin lokal dapat diketahui dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika setempat (ketinggian referensi 10 meter). Informasi tersebut harus dikoreksi sesuai dengan faktor tapak setempat seperti elemen penghalang dan bangunan besar yang memengaruhi kecepatan angin. Faktor koreksi yang didasari oleh kategori karakter permukaan tapak tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

2) Bentuk bangunan dan desain selubung bangunan

Geometri bangunan dan selubung bangunan dapat memengaruhi aliran angin di sekitar bangunan. Geometri bangunan seperti tinggi bangunan, bentuk atap, rasio bangunan, serta bentuk korugasi selubung bangunan (cerukan dan sirip-sirip pada dinding bangunan) dapat mengarahkan atau membelokkan aliran angin. Demikian pula dengan bukaan-bukaan yang ada pada bangunan.

Dalam teknik pengendalian angin untuk kenyamanan termal di dalam bangunan, membutuhkan tingkat kecepatan angin tertentu agar aliran angin cukup untuk menghasilkan

pendinginan fisiologis namun tidak berlebihan. Rekomendasi kecepatan angin yang dibutuhkan di dalam bangunan dapat dilihat pada Tabel 2.

3) Perencanaan dan desain ruang dalam
Aliran udara dalam bangunan dipengaruhi oleh bukaan *inlet*, bukaan *outlet*, dimensi ruang, pembagian ruang dan penataan perabot (Boutet, 1987).

2.2.1 Jenis-Jenis Penghawaan Alami

Penghawaan alami dapat dikategorikan menjadi: ventilasi silang, dan *stack effect* (Ariffin, M.N & Talib, 2015). Ventilasi udara silang yang sangat baik dicapai jika bangunan memiliki bukaan besar pada kedua sisi *windward* dan *leeward*, dengan bukaan dinding besar dan arah angin tegak lurus terhadap bukaan (DeKay & Brown, 2013). Ventilasi silang berfungsi ketika bukaan inlet menghadap arah angin (Liddament M., 1996) (Gambar 1), menciptakan tekanan tinggi di zona *inlet* dan tekanan rendah di zona *outlet* (Melaragno, 1982).

Stack effect adalah sistem penghawaan udara yang terjadi ketika udara hangat yang berada di dalam bangunan keluar melalui bukaan jendela atap dan digantikan udara dingin yang masuk melalui bukaan jendela bawah (Gambar 1). Udara hangat yang berada di dalam bangunan memiliki massa yang lebih ringan daripada udara dingin, sehingga fenomena ini menyebabkan tekanan udara. Proses ini menciptakan gerakan udara secara vertikal dari bawah ke atas yang dikenal dengan *stack effect* (Ariffin, M.N & Talib dkk., 2015).

Tabel 1. Standar Kekasaran Permukaan

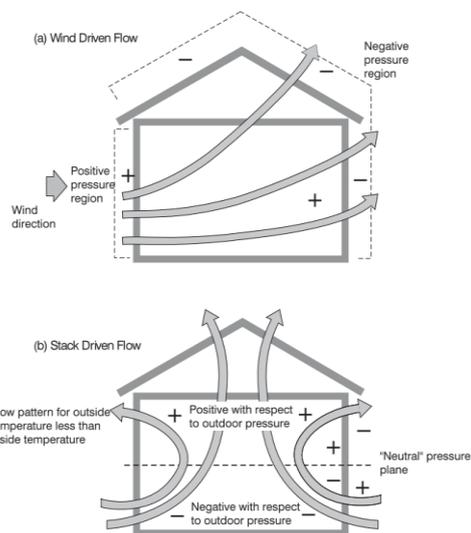
Kategori Permukaan	Deskripsi Permukaan	Tinggi Gradien/ Gradient Height, ZG (m)	Panjang Kekasaran/ Roughness length, Z0 (m)	Eksponen Kecepatan Rerata, α	Konstanta permukaan
I	Laut atau 5 km dari pinggir pantai	250	0.001	0.11	1.30
II	Permukaan dataran	300	0.03	0.15	1.00
III	Perkotaan	400	0.3	0.25	0.67
IV	Pusat perkotaan	500	3	0.35	0.47

Sumber: R. M. Aynsley, Melbourne, and Vickery, 1977

Tabel 2. Rekomendasi Tingkat Kecepatan Angin di Dalam Bangunan (Saat Dihuni)

Temp Kering (°C)	Met	Clo	Kelembaban Relatif (%)	Kec Udara max (m/s)	Kec Udara min (m/s)
21	1	0.9	40	0.1	none
21	1	0.9	60	0.1	none
21	1	0.9	80	0.1	none
24	1	0.9	40	0.1	0.1
24	1	0.9	60	0.1	0.1
24	1	0.9	80	0.1	0.1
27	1	0.5	30	0.95	0.6
27	1	0.5	50	1.35	0.6
27	1	0.5	75	2.05	0.6

Sumber: R. Aynsley, 2007

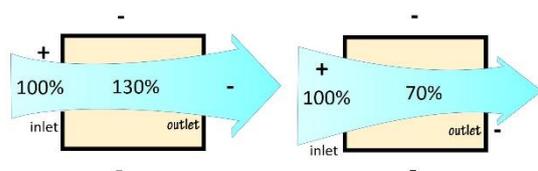


Gambar 1. Prinsip Ventilasi Silang dan *Stack Effect* Melalui Mekanisme Alami (Liddament M., 1996)

2.2.2 Prinsip dan Strategi Penghawaan Alami

Karakteristik aliran udara yang melewati jendela terbuka dipengaruhi oleh penentuan nilai relatif dari angin. Sehingga ventilasi silang melalui elemen jendela terbuka dapat terjadi. Selain itu, jenis jendela akan menentukan luasan bukaan untuk aliran udara serta memengaruhi efektivitas aliran dan tekanan angin. Oleh karena itu untuk menghasilkan desain penghawaan alami yang baik, dibutuhkan strategi yang tepat. Beberapa strategi penghawaan alami yang dapat digunakan yaitu:

- 1) Pengelolaan sistem ventilasi silang, dengan memperhatikan orientasi bukaan, dengan menempatkan *inlet* pada arah datangnya angin dan *outlet* di area tekanan angin negatif (Christina E. Mediastika, 2002) (Gambar 2). Posisi *inlet* diletakkan pada posisi aktivitas duduk maupun berdiri (50-150 cm) sedangkan *outlet* pada posisi yang lebih tinggi dari *inlet*. Bukaan *inlet* dan *outlet* ditempatkan pada arah dinding paralel atau tegak lurus.



Gambar 2. Perbedaan Dimensi *Inlet* dan *Outlet* untuk Mengendalikan Kecepatan Udara Diadaptasi dari Christina E. Mediastika, 2002.

- 2) Perencanaan bukaan yang memperhatikan beberapa parameter seperti dimensi bukaan, tipe bukaan, dan strategi penghawaan alami yang digunakan.

a. Dimensi bukaan

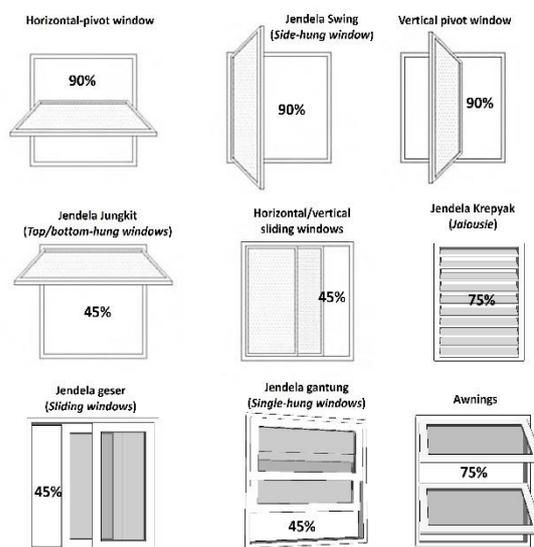
Pada kondisi udara stagnan (*calm*, 0 m/s), beberapa strategi dapat ditempuh seperti, ukuran bukaan mencapai 40% - 80% dari luas dinding keseluruhan atau 10% - 20% dari luas lantai, dimensi jendela yang berbeda antara *inlet* dan *outlet* (Gambar 2), atau penggunaan tipe jendela yang mampu mengalirkan udara sesuai kebutuhan (Gambar 3)

b. Tipe bukaan

Bukaan dapat mereduksi kecepatan aliran udara yang melewati bangunan. Oleh karenanya prediksi kecepatan aliran udara di dalam bangunan harus memperhitungkan luas bukaan efektif (Moore, 1993; Awbi, 2005) (Gambar 3). Beberapa tipe bukaan yang dapat diaplikasikan yaitu:

- Jendela *swing* (*casement/side-hung window*), merupakan jendela dengan bukaan ke samping akan menghasilkan kecepatan udara 90%.
- Jendela *jungkit* (*top/bottom-hung window*), yaitu jendela yang dijungkit di bagian atas atau bawah untuk efisiensi ruang, namun volume udara yang masuk hanya berkisar 20% dari luasan bukaan.

- Jendela *krepyak* (*alousie*), jendela ini memiliki daun jendela bersirip dengan kemiringan 45% dapat mempertahankan kecepatan udara sebesar 75%.



Gambar 3. Bukaan Efektif Berbagai Tipe Jendela

c. Strategi alternatif penghawaan alami

Selain elemen bukaan seperti pintu, jendela, dan jalusi, terdapat beberapa elemen bangunan yang bisa menunjang terjadinya sirkulasi udara sekaligus mengurangi radiasi panas, antara lain:

- Langit-langit (*ceiling*) yang tinggi agar terjadi efek *buoyancy* yang mengangkat udara ke atas dan menghisap udara segar dari luar ke dalam bangunan.
- Bentuk dan volume atap serta ventilasi dan *ceiling* dapat mengelimir udara panas di ruang bawah atap agar tidak tembus ke interior bangunan.
- Menara angin, berfungsi menangkap dan menghisap angin sehingga terjadi suplai udara segar.
- Material bangunan yang bersifat reflektif, resistif dan kapasitif dapat dimanfaatkan sesuai hasil yang diinginkan.
- *Teritisan* (*overhang*), selain berfungsi untuk menghalangi tampias hujan, *teritisan* juga berfungsi sebagai pembayang bangunan dan pengarah aliran angin masuk ke bangunan.

2.3 Tinjauan Desain Pencahayaan Alami

Cahaya alami adalah sumber cahaya yang memberi dampak positif bagi pengguna bangunan. Desain pencahayaan alami merupakan pendekatan yang efektif dalam menciptakan suasana lingkungan visual yang

menyenangkan sekaligus mendukung penghematan energi pada bangunan. Cahaya matahari diyakini sebagai sumber cahaya terbaik karena kualitasnya rendering warna yang dihasilkan sempurna dan merupakan satu-satunya sumber cahaya yang paling sesuai dengan respons visual manusia (Li & Tsang, 2008).

Distribusi cahaya alami yang cukup dan merata pada interior bangunan dipengaruhi oleh konfigurasi desain arsitektural bangunan, bukaan pencahayaan, orientasi bangunan, kedalaman ruang, dan volume ruang.

2.1.1 Standar Pencahayaan Alami Sesuai Fungsi Ruang

Kinerja pencahayaan alami umumnya diukur dengan nilai rekomendasi rerata tingkat pencahayaan dalam suatu ruangan. Nilai rekomendasi tingkat *illuminance* pada tipe bangunan dengan fungsi residensial dikeluarkan oleh *Building Research Establishment* (BRE) dapat dilihat pada Tabel 3.

2.1.2 Strategi Desain Pencahayaan Alami

Desain pencahayaan alami dalam bangunan adalah proses yang terintegrasi dalam merancang bangunan dalam pemanfaatan cahaya matahari secara optimal. Dalam proses desain tersebut terdapat beberapa langkah (Karlen & Benya, 2004; Phillips, 2004) yaitu:

- 1) Penempatan bangunan pada tapak di mana orientasi bangunan menangkap cahaya matahari pantulan dan difus secara optimal dan menghindari sinar matahari langsung dengan mempertimbangkan karakteristik site orientasi, lintasan matahari, serta keberadaan bangunan dan vegetasi setempat.
- 2) Pengaturan massa bangunan dengan pertimbangan sisi dan permukaan bangunan yang optimal terhadap cahaya matahari.
- 3) Pemilihan bentuk bangunan untuk meningkatkan penetrasi cahaya matahari ke dalam bangunan.
- 4) Penentuan ukuran dan posisi jendela yang mempertimbangkan penyediaan pandangan, kontrol panas dan silau, serta kebutuhan fungsional.

- 5) Pemilihan tipe bukaan dan elemen pembayang yang sesuai dengan fungsi bangunan dan kondisi lingkungan sekitarnya (Gambar 3).
- 6) Penggunaan sistem kontrol yang memperhitungkan variasi kondisi luar, seperti kontrol sinar matahari, silau dan integrasi sistem pencahayaan alami dengan pencahayaan buatan.

Tabel 3. Rekomendasi Rerata Tingkat Pencahayaan Alami pada Fungsi Bangunan Residensial

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Ketinggian Referensi
Teras	60	Lantai
Ruang Tamu	150	Lantai
Ruang Makan	150	Meja
Dapur / Pantry	200	Meja Kerja
Ruang utilitas	100	Lantai
Ruang Kerja/ Belajar	200	Meja
Kamar Tidur	100	Lantai
Kamar Mandi	150	Lantai
Lobby, koridor	100	Lantai
Tangga	100	Pijakan

Sumber: Building Research Establishment, 2022

3 METODE

Beberapa teknik yang digunakan dalam pengumpulan data penelitian ini adalah:

- 1) Studi lapangan, digunakan untuk menginvestigasi keadaan tapak eksisting dan bangunan beserta potensi dan kelemahannya. Selain itu studi lapangan juga dilakukan untuk mengkonfirmasi aktivitas pelaku dan ruang-ruang yang dibutuhkan dan dibandingkan dengan hasil studi banding dan studi literatur. Pengukuran kondisi termal dan pencahayaan alami di gedung asrama juga dilakukan pada tahap penelitian lapangan ini.
- 2) Studi banding, digunakan untuk mengevaluasi bentuk desain dan mengkomparasikan desain, fasilitas dan kebutuhan serta besaran ruang dari beberapa bangunan asrama mahasiswa yang telah ada dengan standar dan literatur kemudian dianalisis berdasarkan konteks asrama mahasiswa yang akan di desain.

Studi matematis, digunakan untuk memprediksi kecepatan angin dan intensitas cahaya dalam ruangan serta mengkalkulasi nilai pertukaran udara di dalam ruangan.

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kawasan Universitas Tadulako, Kelurahan Tondo, Kecamatan Mantikulore, Palu Sulawesi Tengah, Indonesia dengan titik koordinat $0^{\circ}50'40.6''$ Lintang Selatan, $119^{\circ}53'49.5''$ Bujur Timur dan ketinggian 50 – 100 meter dari permukaan laut (Gambar 4).



Gambar 4. Lokasi Objek Penelitian dimodifikasi dari Google Map, 2022

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako (Gambar 5).



Gambar 5. Denah dan Perspektif Objek Penelitian

3.3 Studi Lapangan

Dalam penelitian lapangan digunakan beberapa teknik pengumpulan data seperti observasi, pengukuran kondisi termal dan visual asrama, serta wawancara terpandu kepada mahasiswa penghuni asrama, dan Kepala Unit Pelaksana Teknis dan Pengelola asrama mahasiswa.

Pengukuran Temperatur dan kelembaban dilakukan bersamaan di luar dan di dalam bangunan pada bulan Desember selama 3 hari berturut-turut dan dicatat setiap jam dengan menggunakan *Thermohigrometer* (Gambar 6). Perletakan alat diletakkan pada kamar tidur di lantai 1, 2 dan 3 dan di luar bangunan.

Pengukuran pencahayaan dilakukan dengan menggunakan *luxmeter* dengan titik ukur berada di tengah ruangan dengan ketinggian meja kerja. Sedangkan pengukuran angin dilakukan dengan menggunakan *anemometer* dengan titik ukur 1 meter dari luar dan dalam bukaan.



Gambar 6. Alat Ukur Temperatur, Kelembaban, Iuminansi, dan Kecepatan Angin

3.4 Studi Matematis

Dalam penelitian ini studi matematis diutilisasi untuk memprediksi besaran lubang bukaan pencahayaan dan penghawaan pada desain bangunan yang efektif melalui analisis intensitas cahaya, kecepatan aliran udara dalam ruangan, nilai pertukaran volume udara dalam ruangan selama satu jam (ACH). Selain itu juga dilakukan prediksi dimensi dan layout ruang, yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk penggunaan material bangunan, bentuk bangunan, serta modul perancangan.

1) Analisis iklim

Analisis iklim meliputi analisis terhadap setiap elemen iklim yaitu temperatur, kelembaban

udara, curah hujan dan kecepatan dan arah angin. Analisis iklim dilakukan untuk mengetahui karakteristik iklim mikro pada lokasi studi. Hasil dari analisis iklim di jadikan pertimbangan desain asrama mahasiswa.

2) Analisis penghawaan alami

Analisis penghawaan alami melibatkan langkah perhitungan matematis tingkat pertukaran udara di dalam ruangan (*airchange per hour*) yang menggunakan ventilasi silang berdasarkan langkah perhitungan R. M. Aynsley dkk., (1977).

a. Perhitungan kecepatan angin pada ketinggian bangunan

$$\frac{V_z}{V_g} = \left(\frac{z}{z_g}\right)^\alpha \dots\dots\dots [1]$$

dimana:

- V_z = kecepatan angin pada ketinggian z (m/dt)
- V_g = kecepatan angin di ketinggian g (ketinggian gradien) bagian teratas *boundary layer*, dimana kecepatan angin diasumsikan konstan (m/dt)
- Z_g = Ketinggian gradien (m)
- Z = ketinggian pada titik z dari permukaan tanah (m/dt)
- α = eksponen yang sesuai dengan kategori kekasaran permukaan

b. Perhitungan C_p Distribusi pada setiap bangunan

$$\frac{Q}{C_d A} = \Sigma(\sqrt{|C_{pe} - C_{pi}|}) \dots\dots\dots [2]$$

dimana:

- Q = Kecepatan aliran udara (*Air flow rate*) (m³/dt)
- C_d = Koefisien debit aliran angin (*discharge coefficient*)
- A = total luas efektif bukaan (pintu & jendela) yang terbuka (m²)
- C_{pe} = koefisien tekanan eksternal
- C_{pi} = koefisien tekanan internal
- C_{pi} (asumsi) dengan memperhatikan C_{pe}

c. Perhitungan Air Flow Rate

$$Q = \left(\frac{(C_{p1} - C_{p2})Vz^2}{\frac{1}{C_{d1}^2 \cdot A_1^2} + \frac{1}{C_{d2}^2 \cdot A_2^2} + \dots + \frac{1}{C_{dn}^2 \cdot A_n^2}} \right)^{\frac{1}{2}} \dots [3]$$

d. Perhitungan Nilai pertukaran volume udara ruangan/ *air change per hour* (ACH)

$$ACH = \frac{Q}{V} \times 3600 \dots\dots\dots [4]$$

dimana:

V = Volume ruangan

3) Analisis pencahayaan alami

Analisis pencahayaan alami meliputi perhitungan dan tingkat iluminasi berdasarkan fungsi ruang.

Besaran lubang pencahayaan alami pada bangunan dihitung dengan memperhatikan:

Luas Bukaan: Standar bukaan × Luas ruangan

Analisis dari perhitungan kemudian dibandingkan dengan standar pencahayaan pada masing-masing fungsi bangunan.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan Ruang Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako

Asrama mahasiswa yang menjadi objek teliti berada di kompleks kampus Universitas Tadulako Palu, dan berdiri pada lahan seluas 3.5 hektare. Asrama tersebut dihuni oleh 113 mahasiswa dengan jumlah kamar 40 unit per lantai. Terdapat total 4 kamar mandi di setiap lantainya, 2 dapur umum, 2 ruang pengelola, serta 2 gudang. Dari keseluruhan bangunan terdapat fasilitas sebuah kantin dan sebuah dapur umum yang terpakai.

Dalam perencanaan dan desain asrama mahasiswa perlu diperhatikan standar kebutuhan ruang dan fasilitas yang harus disediakan. Perbandingan standar fasilitas asrama berdasarkan teori, preseden desain asrama yang telah terbangun dengan kondisi eksisting Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako dapat terlihat masih terdapat beberapa kekurangan utamanya fasilitas bersama seperti: ruang baca/ ruang belajar indoor, ruang belajar outdoor, ruang diskusi, aula pertemuan, *lobby/guest room*, ruang cuci/ *laundry room*, *senior residence*, ruang administrasi, musala, ruang-ruang fasilitas tambahan, dan sarana rekreasi dan aktivitas sosial lainnya (Tabel 4).

Tabel 4. Perbandingan Fasilitas dan Kebutuhan Ruang Asrama Mahasiswa

Persyaratan Fasilitas Asrama (de Chiara and Callender 1987)	Studi Banding Asrama Mahasiswa di 5 Universitas di Indonesia (Diningrat Khan and Wulandari , 2016)	Fasilitas Asrama mahasiswa Univ. Tadulako
Kamar tidur	Tempat tidur	√
	Lemari pakaian	√
	Meja belajar & kursi	√
	Rak Buku	√
	<i>Coffee Table</i>	×
Kamar mandi (KM/WC)	<i>Ensuite</i>	×
	Umum	√
Ruang makan	Dapur umum	√
	<i>Ensuite pantry</i>	×
	Kantin	√
Sirkulasi	Koridor	√
Ruang baca, ruang diskusi, dll	Ruang belajar <i>indoor</i>	×
	Area belajar <i>outdoor</i>	×
	Ruang pertemuan /aula	×

Persyaratan Fasilitas Asrama (de Chiara and Callender 1987)	Studi Banding Asrama Mahasiswa di 5 Universitas di Indonesia (Diningrat Khan and Wulandari , 2016)	Fasilitas Asrama mahasiswa Univ. Tadulako
	Guestroom/ lobby	×
Ruang pelayanan dan penyimpanan (<i>service and utility room</i>)	<i>Laundry room/ ruang cuci Janitor</i> dan gudang	×
Kamar penjaga	Kamar penjaga <i>Senior residence</i>	√ ×
Ruang administrasi	Ruang pengelola / Layanan dokumen	×
Ruang tambahan (fasilitas tambahan lain, seperti warnet, wartel, dll)	<i>Automatic Teller Machine (ATM)</i>	×
	Fasilitas <i>photo copy</i> ,	×
	Warnet, ATK/ Koperasi	×
	<i>Tour & travel</i>	×
	<i>Minimarket</i>	×
	Mushola	×
Tempat rekreasi dan aktivitas sosial	Sarana olahraga,	×
	Ruang TV	×
	Studio musik,	×
	Ruang karaoke	×

4.1.1 Analisis Program Ruang

Berdasarkan standar fasilitas, studi banding, kondisi sosial dan fasilitas lingkungan di sekitar tapak Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako, maka perencanaan dan desain Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako pada penelitian ini merekomendasikan beberapa fasilitas yaitu:

- Ruang kamar mahasiswa dengan pemisahan Gedung asrama putra dan putri
- Kamar mandi dan toilet umum
- Ruang cuci pakaian umum (*laundry room*)
- Ruang makan, dapur dan ruang cuci piring
- Lobby/ruang tunggu/ruang tamu
- Ruang aktivitas bersama (ruang pertemuan dan ruang baca/ruang belajar bersama)
- Koridor satu sisi (*single loaded corridor*)
- Kantor pengelolah (ruang ketua asrama, ruang wakil ketua asrama, dan ruang administrasi)
- Ruang service (ruang genset, ruang *control panel*, ruang pompa air) dan gudang penyimpanan
- Kamar penjaga dan pos jaga
- Ruang *Office Boy*
- Musala
- *Minimarket*
- Lapangan basket/futsal
- Ruang Kesehatan
- *Sewage Treatment Plant*

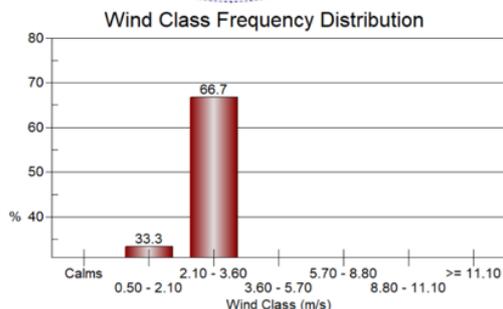
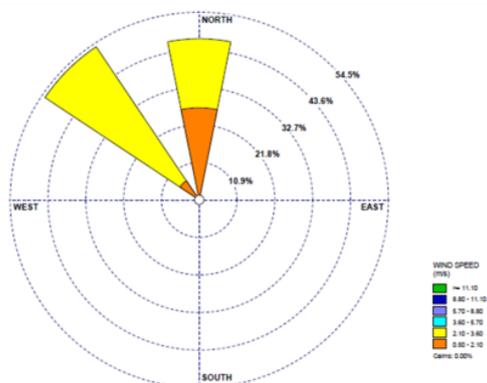
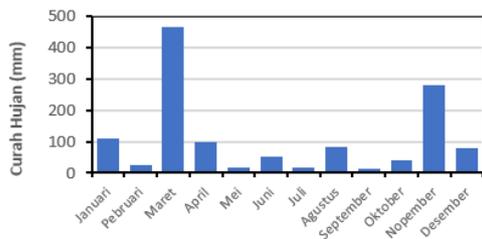
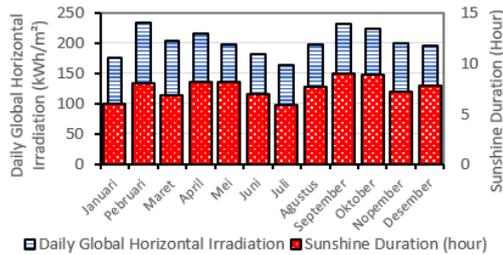
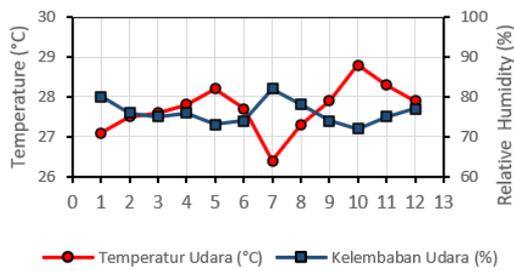
4.2 Analisis Iklim Kota Palu

Analisis klimatologi di lokasi tapak menggunakan data iklim Kota Palu selama lima tahun. Data klimatologi tersebut didapatkan melalui dokumentasi stasiun BMKG Bandar Udara Mutiara Palu (Gambar 7). Data iklim tersebut dimanfaatkan untuk menganalisis variasi temperatur dan kelembaban udara, durasi penyinaran matahari, serta arah dan kecepatan angin.

Berdasarkan dari kondisi iklim Kota Palu maka dapat diketahui bahwa iklim Kota Palu merupakan tipikal karakteristik iklim tropis dataran rendah dengan bulan terpanas terjadi pada bulan Oktober dengan rata-rata temperatur bulanan hampir mencapai 29°C dan bulan terdingin berlangsung di bulan Juli dengan temperatur rerata bulanan 26.3°C. Adapun rata-rata kelembaban relatif udara berkisar antara 70%-80%.

Radiasi matahari yang tinggi dialami di bulan Februari, April, September dan Oktober dimana radiasi matahari melebihi 200 kWh/m². Curah Hujan yang tinggi terjadi pada bulan Maret dan November di mana saat terjadi hujan deras sering disertai angin kencang. Sehingga perlindungan terhadap tampias air hujan pada bulan ini sangat diperlukan.

Arah angin dominan berhembus dari arah Utara dan Barat Daya dengan kecepatan angin maksimum rata-rata berkisar antara 2.1–3.6 m/s. Oleh karena itu bukaan pada sisi utara dan barat bangunan, diyakini dapat membantu terjadinya penghawaan alami pada bangunan. Namun pada Sebagian besar waktu kecepatan udara tergolong tenang, sehingga strategi akselerasi angin dibutuhkan dalam menyukseskan strategi ventilasi silang.



Gambar 7. Kondisi Iklim Kota Palu

4.3 Analisis Kondisi Termal Asrama Universitas Tadulako

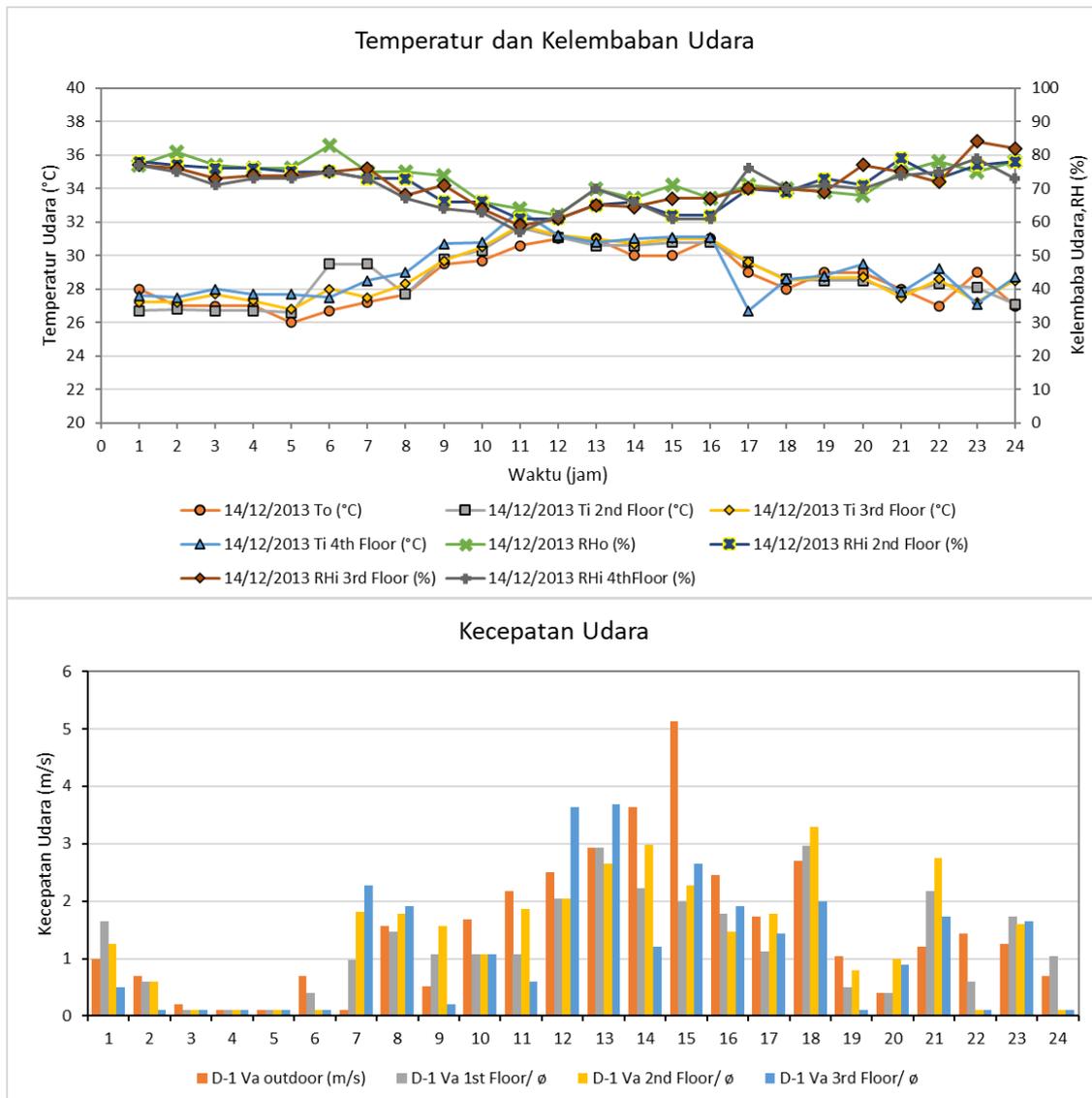
4.3.1 Hasil Pengukuran Lapangan Kondisi Termal

Kecepatan udara di lantai basement asrama mahasiswa tersebut tergolong agak kencang dan sejuk. Pada lantai 1 hingga 4 angin masuk melalui koridor Timur dan Barat tanpa ada elemen pengarah yang mengakselerasi masuknya kedalam ruangan (Gambar 8). Angin hanya dapat dirasakan pada bangunan bagian depan saja, tetapi pada ruang kamar mahasiswa kecepatan angin menurun. Sehingga, beberapa kamar utamanya pada sisi angin leeward mengutilisasi penghawaan buatan seperti kipas angin atau pengkondisian udara (AC).



Gambar 8. Bukaan Penghawaan di Asrama Mahasiswa

Gambar 9 menunjukkan hasil tipikal pengukuran temperatur, kelembaban dan kecepatan udara di Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako selama 24 jam. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kondisi temperatur udara di dalam asrama lebih tinggi hingga 2°C jika dibandingkan dengan temperatur ambien. Temperatur terendah terjadi pada jam 5 yaitu kurang lebih 26°C. Sedangkan kondisi kelebihan panas (*overheating*) mulai berlangsung pada jam 10:00 hingga jam 16.00 waktu setempat dengan temperatur udara di dalam ruangan mencapai 32°C.



Gambar 9. Hasil Pengukuran Temperatur Kelembaban dan Kecepatan Udara dalam 24 jam

Hasil tersebut mendukung hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kondisi bangunan di daerah tropis hangat lembap cenderung mengalami kondisi kelebihan panas utamanya pada siang hari mencapai 30 – 32°C (Rajapaksha, 2017). Perbaikan material dinding dan langit-langit dapat memperbaiki kondisi termal ruangan hingga berkisar 24°C-30°C (Sakya & Primasetra, 2023).

Kecepatan angin pada siang hari sangat potensial untuk menukar udara panas dalam bangunan yaitu berkisar antara 1 – 3 m/s. Kecepatan angin di lantai 3 bahkan melebihi 3m/s di jam 12:00 – 13:00. Banyak studi yang membuktikan bahwa kecepatan udara antara 0.9 – 1.9 m/s dapat meningkatkan rentang

temperatur udara nyaman hingga 31°C (Mihara dkk., 2019; C. Cândido dkk., 2010; Christhina Cândido, de Dear & Lamberts, 2011). Meskipun rentang kenyamanan kecepatan aliran udara maksimum disarankan oleh ASHRAE 55 hanya hingga 0.8 m/s (ASHRAE 2021).

4.3.2 Respons Desain Termal Desain Asrama Mahasiswa

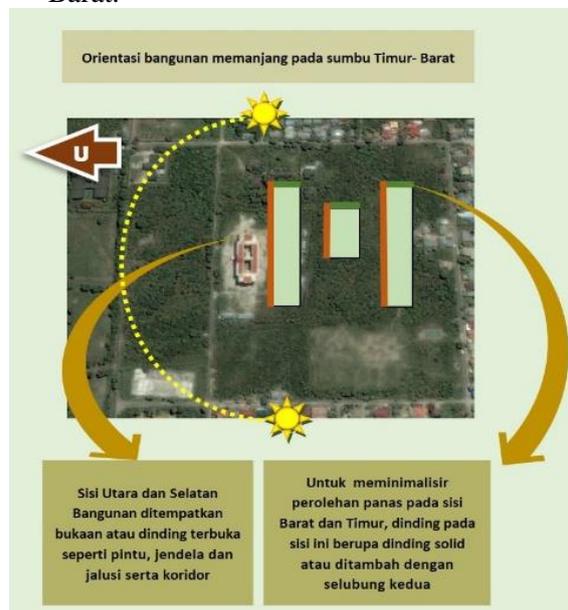
Berdasarkan kondisi yang terjadi lapangan, maka beberapa strategi desain yang dapat diterapkan dalam merespons kondisi tersebut agar didapatkan desain asrama mahasiswa dengan kondisi termal yang optimal yaitu orientasi bangunan, perlindungan terhadap

radiasi matahari, pantulan dan penyerapan, serta penghawaan alami.

a). Orientasi bangunan

Kriteria untuk orientasi bangunan dan perlindungan terhadap Cahaya matahari diterapkan menurut (Lippsmeier dkk., 1997). Oleh karena itu respons desain yang diterapkan adalah (Gambar 10):

- *Facade* terbuka menghadap ke utara atau selatan, untuk meminimalisir radiasi matahari langsung.
- Perlindungan bukaan terhadap penetrasi cahaya matahari langsung.
- Bangunan memanjang pada sumbu Timur - Barat.



Gambar 10. Penerapan Elemen *Opaque* dan Bukaan

b). Perlindungan terhadap radiasi matahari langsung dapat dilakukan dengan cara:

- Penerapan elemen vegetasi baik secara horizontal maupun vertikal
- Penggunaan selubung kedua dan atau sirip pembayang baik horizontal maupun vertikal.
- Pemakaian dinding terbuka/ dapat bernapas, bukaan untuk aliran angin atau kaca *low emissivity* yang dapat dioperasikan.

c) Penghawaan alami

Strategi penghawaan alami yang umum digunakan di daerah tropis adalah sistem ventilasi silang. Sehingga respons desain yang

akan digunakan adalah ventilasi silang dengan menyediakan bukaan *inlet* (pemasukan udara) pada sisi *windward* dan *outlet* (mengeluarkan udara) pada sisi *leeward*, dengan demikian ventilasi silang dapat diciptakan dalam interior bangunan. Ventilasi silang lebih maksimal apabila penempatan secara vertikal. Sehingga pada studi ini jendela yang berfungsi sebagai *inlet* akan diletakkan pada ketinggian manusia yaitu 60 - 150 cm dari permukaan lantai (aktivitas duduk maupun berdiri). Dengan demikian, udara dapat mengalir di dalam ruangan untuk dimaksimalkan sebagai pendinginan fisiologis dalam pencapaian kondisi kenyamanan.

Sedangkan bukaan jendela yang difungsikan sebagai *outlet* diposisikan lebih tinggi, agar pelepasan udara panas yang ada di dalam ruang dengan mudah dapat terjadi. Oleh karena itu penempatan *outlet* yang direkomendasi pada desain asrama yang direncanakan adalah pada ketinggian 200 – 260 cm dari permukaan lantai.

Untuk mencapai kenyamanan ruangan maka dibutuhkan perencanaan dan desain yang tepat dalam penempatan bukaan-bukaan pada dinding ruangan, dan penentuan arah bukaannya untuk mengontrol dan memaksimalkan aliran udara yang bergerak ke dalam ruangan. Oleh karenanya untuk mengetahui pertukaran udara per jam dilakukan perhitungan secara manual berdasarkan rumus 1-4.

1). Perhitungan kecepatan angin pada ketinggian bangunan 4 m, 8m, dan 12 m

Diketahui :

- V_{10} : 2 m/dt; Z_{10} : 10 m
- Z_g (open country): 300 m Z_g (Sub urban): 400 m
- a_2 : 0,15 a_s : 0,25
- Z : 4 m, 8m, 12m

Penyelesaian:

$$V_g = V_{10} \left(\frac{Z_g}{Z_{10}} \right)^{a_2}$$

$$V_g = 2 \text{ m/s} \left(\frac{300}{10} \right)^{0.15} = 1.67 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_z}{V_g} = \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^a$$

$$V_z = V_g \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{0.25}$$

$$V_z = 1.67 \text{ m/s} \left(\frac{4\text{m}}{400\text{m}} \right)^{0.25} = 0.628 \text{ m/s}$$

$$V_z = 1.67 \text{ m/s} \left(\frac{8\text{m}}{400\text{m}} \right)^{0.25} = 0.628 \text{ m/s}$$

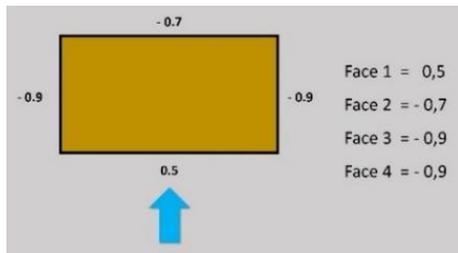
$$V_z = 1.67 \text{ m/s} \left(\frac{12\text{m}}{400\text{m}} \right)^{0.25} = 0.695 \text{ m/s}$$

Maka kecepatan angin pada ketinggian 4 meter pada daerah Sub Urban adalah 0.53m/s sehingga kecepatan angin pada ketinggian lantai pertama, kedua dan ketiga asrama dapat disimulasikan dengan 0.53m/s, 0.63m/s dan 0.70m/s. Hasil tersebut lebih rendah jika dibandingkan pada hasil pengukuran di siang hari yang kecepatan angin tertingginya rata-rata 1.3 - 1.4 m/s (Tabel 5). Namun hasil perhitungan tersebut masih dalam rentang yang dapat diterima, mengingat 60 persen kecepatan angin tergolong tenang (0.0 m/s)

Tabel 5. Perbandingan Hasil Perhitungan Matematis dan Hasil Pengukuran Kecepatan Udara

	Lantai 1 (4m)	Lantai 2 (8m)	Lantai 3 (12m)
Va perhitungan	0.53 m/s	0.628 m/s	0.695 m/s
Va pengukuran	1.359 m/s	1.442 m/s	1.409 m/s

2). Perhitungan distribusi Cp eksternal pada setiap dinding bangunan (Gambar 11 dan 12)



Gambar 11. Data Koefisien Tekanan Angin pada Bangunan Bertingkat Rendah (1 – 3 lantai), Rasio Panjang: Lebar (2:1) Kondisi Lingkungan Terekspos (Liddament M., 1996)

Nilai Cp internal dengan memperhatikan Cp eksternal

- Cpi (diasumsikan) = - 0.7

$$\frac{Q}{C_d A} = \left((C_{pe1} - C_{pi})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe2})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe3})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe4})^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\frac{Q}{C_d A} = \left((0.5 - (-0.7))^{\frac{1}{2}} - (-0.7 - (-0.7))^{\frac{1}{2}} - (-0.7 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} - (0.7 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} \right) = 0.201$$

- Cpi (di asumsikan) = + 0.8

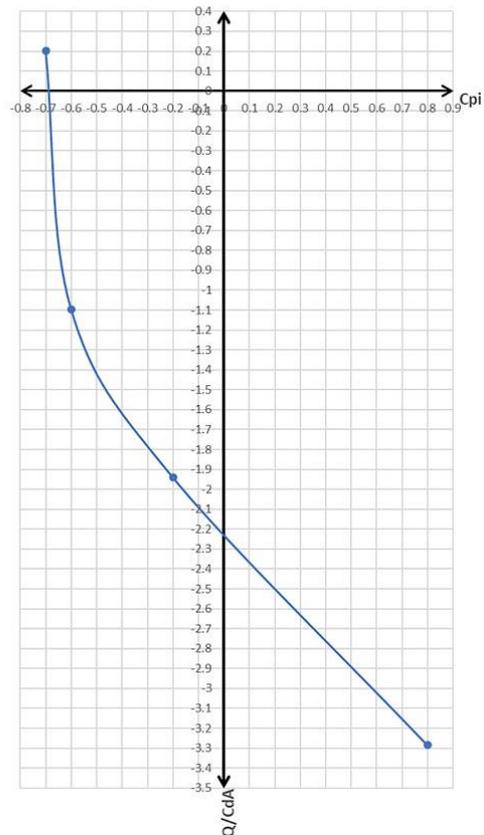
$$\frac{Q}{C_d A} = \left((C_{pi} - C_{pe1})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe2})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe3})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe4})^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\frac{Q}{C_d A} = \left((0.8 - 0.5)^{\frac{1}{2}} - (0.8 - (-0.7))^{\frac{1}{2}} - (0.8 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} - (0.8 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} \right) = -3.285$$

- Cpi (di asumsikan) = - 0.2

$$\frac{Q}{C_d A} = \left((C_{pe1} - C_{pi})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe2})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe3})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe4})^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\frac{Q}{C_d A} = \left((0.5 - (-0.2))^{\frac{1}{2}} - (-0.2 - (-0.7))^{\frac{1}{2}} - (-0.2 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} - (0.2 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} \right) = -1.094$$



Gambar 12. Nilai Perhitungan Cp Distribusi
• Cpi (di asumsikan) = - 0.6

$$\frac{Q}{C_d A} = \left((C_{pe1} - C_{pi})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe2})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe3})^{\frac{1}{2}} - (C_{pi} - C_{pe4})^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\frac{Q}{C_d A} = \left((-0.5 - (-0.6))^{\frac{1}{2}} - (-0.6 - (-0.7))^{\frac{1}{2}} - (-0.6 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} - (-0.6 - (-0.9))^{\frac{1}{2}} \right) = -1.096$$

Dari hasil perhitungan, untuk menghasilkan nilai $Q/C_d A = 0$, maka nilai C_{pi} adalah -2.24 .

3). Perhitungan Tingkat Kecepatan Aliran Udara (*Air Flow Rate*)

a. Tingkat kecepatan aliran udara ketika semua bukaan dibuka

Diketahui:
 $C_{p1} : 0.5$
 $C_{p2} : -0.7$
 $C_d : 0.65$
 $V_z : 1.359 \text{ m/s}$ (kecepatan udara di lantai 1)
 A_1 (Jendela Utara) : $(1.30 \times 1.80) = 2.34 \text{ m}^2$
 A_2 (Jendela Selatan): $(0.65 \times 1.80) = 1.17 \text{ m}^2$
 A_3 (Pintu Utara) : $(0.9 \times 2.50) = 2.25 \text{ m}^2$

Penyelesaian:

$$Q = \left(\frac{(C_{p1} - C_{p2}) \times V_z^2}{\frac{1}{C_{d1}^2 \times A_1^2} + \frac{1}{C_{d2}^2 \times A_2^2} + \frac{1}{C_{d3}^2 \times A_3^2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \left(\frac{(0.5 - (-0.9)) \times 1.359^2}{\frac{1}{0.65^2 \times 2.34^2} + \frac{1}{0.65^2 \times 1.17} + \frac{1}{0.65^2 \times 2.25^2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \left(\frac{2.586}{2.5} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.017$$

Sehingga nilai tingkat kecepatan aliran udara ketika semua bukaan dibuka adalah **1.017 m³/s**

b. Tingkat kecepatan aliran udara ketika bukaan dibuka kecuali pintu

Diketahui:
 $C_{p1} : 0.5$
 $C_{p2} : -0.7$
 $C_d : 0.65$
 $V_z : 1.359 \text{ m/s}$ (kecepatan udara di lantai 1)
 A_1 (Jendela Utara) : $(1.30 \times 1.80) = 2.34 \text{ m}^2$
 A_2 (Jendela Selatan): $(0.65 \times 1.80) = 1.17 \text{ m}^2$
 A_3 (Pintu Utara) : $(0.9 \times 0.40) = 0.36 \text{ m}^2$

Penyelesaian :

$$Q = \left(\frac{(0.5 - (-0.9)) \times 1.359^2}{\frac{1}{0.65^2 \times 2.34^2} + \frac{1}{0.65^2 \times 1.17} + \frac{1}{0.65^2 \times 0.36^2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \left(\frac{2.586}{2.69} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.98$$

Jadi *Air flow rate* pada saat semua bukaan dibuka kecuali pintu adalah **0.98 m³/s**

4). Perhitungan Nilai Pertukaran Udara per Jam (ACH)

a. Nilai pertukaran udara per jam ketika semua bukaan dibuka:

$$V = 3 \times 4 \times 4 = 48 \text{ m}^3$$

$$Q = 1.017 \text{ m}^3/\text{s}$$

Penyelesaian :

$$ACH = \frac{Q}{V} \times 3600$$

$$ACH = \frac{1.017}{48} \times 3600 = 76.28$$

Jadi nilai Pertukaran Udara per Jam (ACH) pada saat semua bukaan dibuka adalah 76.28 kali/ jam. Dengan nilai tersebut maka luasan bukaan yang direncanakan melebihi standar 40 ACH untuk penghawaan alami.

b. Nilai ACH saat semua bukaan dibuka kecuali pintu:

Diketahui :
 $V = 3 \times 4 \times 4 = 48 \text{ m}^3$
 $Q = 0.98 \text{ m}^3/\text{s}$

Penyelesaian :

$$ACH = \frac{Q}{V} \times 3600$$

$$ACH = \frac{0.98}{48} \times 3600 = 73.53$$

Jadi nilai Pertukaran Udara per Jam (ACH) saat semua bukaan dibuka kecuali pintu adalah 73.53/jam. Dengan demikian maka luasan bukaan yang direncanakan masih melebihi standar 40 ACH untuk penghawaan alami. Perhitungan Air flow dan ACH dihitung untuk kamar tidur di lantai 1. Sehingga untuk lantai 2 dan 3 yang memiliki kecepatan angin lebih tinggi, maka dapat diasumsikan bahwa kamar-kamar di lantai 2 dan 3 dapat memenuhi standar penghawaan alami.

Untuk mengoptimalkan bukaan penghawaan sesuai dengan perhitungan, maka tipe jendela yang direkomendasikan adalah jendela jalusi dan jendela swing bukaan samping yang dapat meneruskan angin kedalam bangunan hingga 90% (Gambar 13).



Gambar 13. Rekomendasi Tipe Jendela untuk Desain Asrama

4.4 Analisis Pencahayaan di Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako

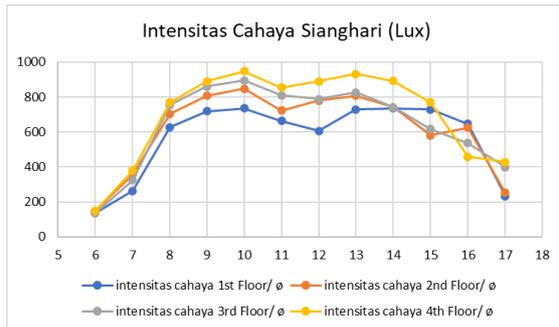
4.4.1 Hasil Pengukuran Lapangan Kondisi Pencahayaan

Pencahayaan pada objek studi menerapkan pencahayaan alami. Namun, di waktu pagi hingga sore hari ruang-ruang yang menghadap ke Timur dan Barat cenderung kurang nyaman akibat penetrasi cahaya matahari langsung ke dalam ruangan. Hasil studi lapangan membuktikan bahwa Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako, selain menyediakan pencahayaan alami melalui bukaan samping (*side-lighting*), bangunan tersebut juga menyediakan pencahayaan atas (*top-lighting*) yang menghadirkan beban panas kedalam bangunan, utamanya pada lantai paling atas yang berasal dari *skylight*. (Gambar 14). Pencahayaan alami pada bagian tangga didapatkan dengan pelubangan dan jendela. Adapun koridor yang berada di ujung ruangan mengalami tingkat pencahayaan alami yang kurang akibat terhalang oleh keberadaan dinding.



Gambar 14. Kondisi Pencahayaan di Asrama Mahasiswa

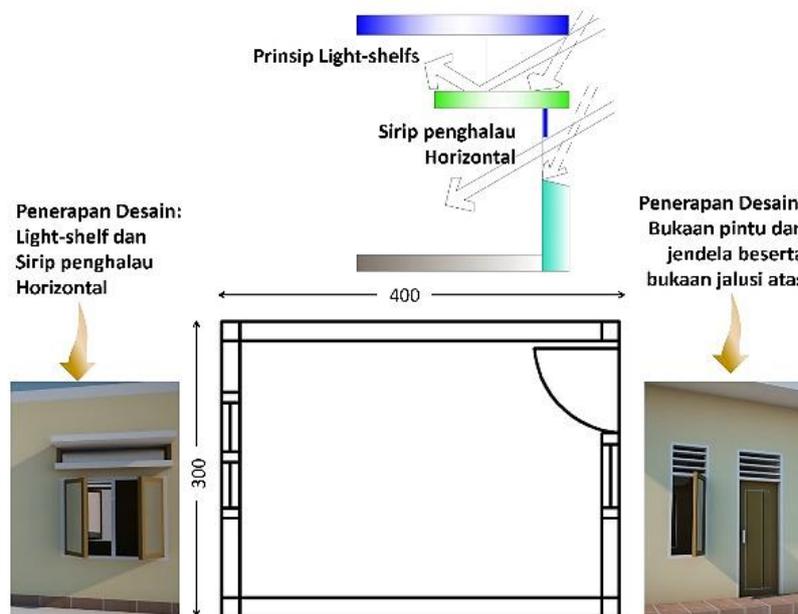
Dari hasil pengukuran intensitas cahaya yang dihasilkan oleh pencahayaan alami di kamar asrama, diketahui bahwa cahaya mulai pukul 07:00 pagi hingga pukul 17:00 sore yaitu di atas 200 *lux* (Gambar 15). Kondisi tersebut sudah memenuhi standar pencahayaan tempat tinggal (Building Research Establishment, 2022). Untuk aktivitas belajar, Tingkat iluminasi cahaya siang hari dapat memenuhi standar mulai pukul 08:00 pagi hingga pukul 16.00 sore yaitu di atas 500 *lux*. Namun gradien cahaya yang kontras antara daerah dekat bukaan dengan daerah perimeter ruangan yang cukup tinggi menyebabkan fenomena kontras yang tidak nyaman bagi penglihatan. Rasio jendela dan dinding 16% dengan *visible light transmittance* 0.62 dapat memenuhi standar pencahayaan bangunan dengan fungsi residensial (Kalaimathy dkk., 2023).



Gambar 15. Hasil Pengukuran Intensitas Cahaya di Kamar Tidur

4.4.2 Respons Desain Pencahayaan Asrama

Untuk mengatasi kondisi nyata dilapangan maka akan perencanaan desain asrama



Gambar 16. Rekomendasi Desain Rak Cahaya pada Desain Asrama

Merujuk hasil perhitungan standar bukaan sebelumnya maka luas bukaan cahaya pada setiap kamar mahasiswa dapat menggunakan luas bukaan efektif jendela sebesar 140 x 130 meter persegi dengan dua bilah bukaan jendela yang dapat dibuka berukuran 140 m x 65 m. Namun untuk mengakomodir kebutuhan penghawaan alami yang telah dihitung ACH-nya maka jumlah bukaan pada kamar terdiri dari (Gambar 16):

- 2 buah jendela dan jalusi dengan ukuran $1.30 \times 1.80 = 2.34 \text{ m}^2$ di sisi bagian utara
- 1 buah pintu dan jalusi dengan ukuran $0.9 \times 2.50 = 2.25 \text{ m}^2$
- 1 buah jendela dan jalusi dengan ukuran $0.65 \times 1.80 = 1.17 \text{ m}^2$

mahasiswa akan mengoptimalkan pencahayaan alami dari pagi hingga sore hari agar seluruh bangunan memperoleh cahaya matahari yang cukup merata.

Untuk mencapai kenyamanan visual dalam ruang pada desain asrama mahasiswa, maka sistem bukaan direncanakan berdasarkan standar luas bukaan di daerah tropis berkisar antara 15-30 % dari luas lantai. Dengan luas ruang kamar 4 x 3 memerlukan luas bukaan pencahayaan sebesar 15 % dari 12 m^2 yaitu $1,8 \text{ m}^2$.

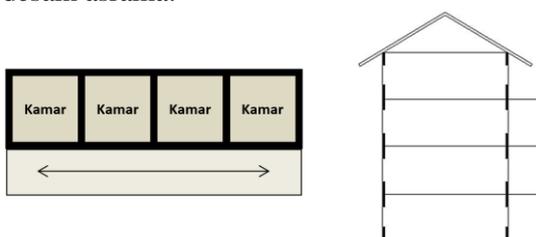
Dengan luas bukaan yang direncanakan diharapkan dapat memenuhi standar pencahayaan berdasarkan UDI 300-1500 lux (Alfani dkk., 2023). Dengan demikian persentase bukaan yang digunakan berkisar antara 30-50%. Hasil perhitungan ini dikonfirmasi oleh hasil penelitian terdahulu yang menyebutkan bukaan efektif untuk pencahayaan dan penghawaan hingga minimal 20% hingga 50% untuk menanggulangi efek penggunaan tirai pada jendela untuk kepentingan privasi (Fitriaty dkk., 2019).

Cahaya matahari selain menyediakan cahaya yang dibutuhkan untuk jenis aktifitas tertentu, juga dapat menyebabkan kesilauan. Oleh

karena itu dalam rangka mereduksi silau, maka studi ini merekomendasikan elemen pembayang matahari yang dapat melindungi bukaan dan fasad bangunan serta dapat menyeragamkan cahaya matahari yang masuk.

Penggunaan sirip horizontal yang dapat menahan cahaya matahari langsung yang tinggi direkomendasikan dalam studi ini. Selain itu penggunaan rak cahaya (*light shelf*). Rak cahaya dapat berfungsi sebagai pembayang matahari langsung sekaligus sebagai pemantul sebagian besar cahaya matahari ke kedalaman ruang melalui *ceiling* untuk mendapatkan cahaya yang seragam di dalam ruangan (Kontadakis dkk., 2018). Dengan demikian efek silau akibat dari pencahayaan bukaan samping dapat direduksi. Rak cahaya ini berguna bagi ruangan yang menerapkan pencahayaan alami dari samping (Gambar 16).

Untuk mengoptimalkan pencahayaan dan penghawaan alami, maka sistem *single loaded corridor* direkomendasikan pada desain asrama mahasiswa (Gambar 17). Karena dengan sistem *single loaded* ini, cahaya matahari difusi dapat langsung masuk ke dalam ruangan, dan cahaya langsung dapat dilindungi oleh *overhang* yang terbentuk dari koridor. Dengan demikian diharapkan penghematan energi pencahayaan dan penghawaan alami dapat diterapkan dalam desain asrama.



Gambar 17. Rekomendasi Sistem Koridor pada Desain Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako

Untuk membantu dalam pengendalian silau dari pantulan elemen ruang luar, maka elemen penghijauan lingkungan seperti vegetasi harus diterapkan pada desain ruang luar Gedung asrama. Penerapan pohon-pohon yang cukup tinggi dan rumput sebagai penutup permukaan diyakini mampu mereduksi efek silau di interior bangunan.

- Untuk material dinding, permukaannya harus mampu memantulkan sinar matahari dengan maksimal sehingga kamar tidur dapat menjadi nyaman.

- Untuk ruang luar di sekitar gedung asrama mahasiswa perlu ditempatkan badan air yang terbayangi guna menyerap sebagian panas dari radiasi matahari langsung sekaligus mengurangi efek silau.
- Untuk ruang luar seoptimal atau semaksimal mungkin menerapkan *softscape* dari vegetasi sehingga memiliki tingkat penyerapan yang tinggi dan pemantulan sinar rendah.

5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI DESAIN

Penelitian ini bertujuan melakukan evaluasi desain asrama berdasarkan aspek fisik desain dengan studi kasus Asrama Mahasiswa Universitas Tadulako yang akan dijadikan bahan dasar dan referensi bagi analisis dalam Redesain Gedung Asrama Mahasiswa Tadulako yang menerapkan strategi desain penghawaan dan pencahayaan alami.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kondisi asrama mahasiswa universitas tadulako perlu ditingkatkan baik dari segi penyediaan fasilitas prasarana maupun peningkatan kondisi termal dan pencahayaan untuk mencapai kenyamanan termal dan visual penghuninya.

Desain Gedung Asrama Mahasiswa khususnya di daerah tropis khatulistiwa perlu memperhatikan beberapa strategi desain untuk mencapai bangunan yang hemat energi penghawaan dan pencahayaan sebagai berikut:

Desain ruang luar, ruang di desain dengan penggunaan elemen vegetasi baik sebagai pengarah angin, penghalau sinar matahari langsung, maupun sebagai penutup permukaan yang dapat menyerap/ mereduksi silau akibat sinar pantul

Orientasi panjang bangunan sedapat mungkin pada sumbu Timur-Barat dengan perlindungan khusus pada sisi selubung di Timur dan Barat untuk mereduksi bangkitan panas secara radiasi dan konduksi.

Orientasi dan Posisi Bukaan bukaan sebaiknya berada pada sisi Utara-Selatan utamanya menghadap ke arah datangnya angin (*windward*) dan arah angin negatif (*leeward*). Namun sedapat mungkin bukaan dapat mengutilisasi dari mana pun arah datangnya

angin untuk kepentingan pendinginan fisiologis.

Tipe jendela yang digunakan sebaiknya tipe jendela yang mampu memasukkan angin hingga 90% untuk menanggulangi kecepatan udara di daerah tropis yang tergolong rendah, di mana tipe jendela mampu mengarahkan dan mengakselerasi angin. Luas bukaan penghawaan dan pencahayaan harus dioptimalkan sehingga berdasarkan studi ini bukaan sebesar 30-50% dari luar lantai sangat direkomendasikan dengan ketentuan adanya pencahayaan yang merata hingga ke kedalaman ruang.

Penggunaan elemen pembayang, penyerap serta pemantul cahaya dalam rangka mengatasi bangkitan panas dan silau dari sinar matahari langsung. Selain itu elemen pemantul seperti light shelf juga dibutuhkan untuk membantu menyeragamkan tingkat pencahayaan pada denah ruang yang dalam.

Penggunaan geometri bangunan dan elemen yang dapat mengarahkan angin dan menghalangi radiasi panas agar tidak menembus masuk ke interior bangunan.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi: SF. Metode: SF, PF, dan AJRB. Investigasi S.F. Sumber Pustaka: PF, Kurasi data: SF, PF, AJRB. Penulisan penyiapan *draft* orisinal: SF; Penulisan *review* dan *editing* PF. Supervisi: PF dan AJRB. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi publikasi dari manuskrip.

REFERENSI

- Alfani, P Fitriaty, and S M Malik. 2023. "Thermal and Daylighting Evaluation: The Basic of Energy Efficient House Design at the Earliest Stages." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1267 (1): 012080. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1267/1/012080>.
- Araujo, Pedro de, and James Murray. 2010. "Estimating the Effects of Dormitory Living on Student Performance." *Economics Bulletin* 30 (1): 866–78. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1555892>.
- Ariffin, M.N & Talib, A., Ab. Aziz Shuaib,

Olalere Folasayo Enoch, M Ramli AS Hassan, Hamed Niroumand, Charles J. Kibert, Juan Antonio Barcelo dkk., 2015. "Natural Ventilation of Indoor Air Temperature: A Case Study of the Traditional Malay House in Penang School of Housing , Building and Planning , University Sains Malaysia , 11800 Penang , Malaysia." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 170 (October 2015): 59–67.

- Awbi, Hazim B. 2005. *Ventilation of Buildings. Building Services Design Methodology: A Practical Guide*. 2nd ed. London and New York: Spon Press. <https://www.taylorfrancis.com/books/9781135803414>.
- Aynsley, R M, W H Melbourne, and B J Vickery. 1977. *Architectural Aerodynamics*. Edited by Henry J. Cowan. Architectural Science Series. London: Applied Science Publishers. https://books.google.co.id/books?id=2_67AAAAIAAJ.
- Aynsley, Richard. 2007. "Natural Ventilation in Passive Design: Actions Towards Sustainable Outcomes." *BEDP Environment Design Guide Standards*. Vol. 5. The Royal Australian Institute of Architects. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.7478&rep=rep1&type=pdf>.
- Baker, Nick, and Koen Steemers. 2000. *Energy and Environment in Architecture; A Technical Design Guide*. 1st Editio. New York: E & FN Spon.
- Boutet, Terry S. 1987. *Controlling Air Movement: A Manual for Architects and Builders*. New York: McGraw-Hill.
- Building Research Establishment. 2022. "Consultation Paper: CONSP: 05 Amendments to SAP 's Lighting Calculation." Vol. 2.
- Chen, Shijia. 2017. "Test and Analysis of Indoor Environment of Dormitories of Universities in Autumn." In *Syria Studies*, 1820:040026. <https://doi.org/10.1063/1.4977298>.
- Chiara, Joseph de, and John Callender. 1987. *Time-Saver Standards for Building Types 2 Edition*. 2nd Editio. New York: McGraw-Hill.

- Christina E. Mediastika. 2002. "DESAIN JENDELA BANGUNAN DOMESTIK UNTUK MENCAPAI 'COOLING VENTILATION' Kasus Uji: Rumah Sederhana Luas 45m² Di Yogyakarta." *DIMENSI (Jurnal Teknik Arsitektur)* 30 (1).
<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/15768>.
- Dekay, Mark, and G Z Brown. 2013. *Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Diningrat Khan, Rezky, and Ratri Wulandari. 2016. "Studi Komparasi Fasilitas Dan Standar Asrama Di Indonesia: Studi Kasus 5 Universitas." *IDEALOG: Jurnal Desain Interior & Desain Produk* 1 (2): 193–205.
<https://journals.telkomuniversity.ac.id/idealog/article/download/852/634/>.
- Du, Jia, and Wei Pan. 2021. "Examining Energy Saving Behaviors in Student Dormitories Using an Expanded Theory of Planned Behavior." *Habitat International* 107 (September 2020): 102308.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102308>.
- Fitriaty, Puteri., Zhenjiang. Shen, Kenichi. Sugihara, Fumihiko. Kobayashi, and Tatsuya. Nishino. 2017. "3D Insolation Colour Rendering for Photovoltaic Potential: Evaluation on Equatorial Residential Building Envelope." *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development* 5 (4): 73–88.
https://doi.org/10.14246/irspsd.5.4_73.
- Fitriaty, Puteri, Andi Jiba Rifai Bassaleng, Nur Rahmanina Burhany, Rifai Mardin, Altim Setiawan, and Saiful Alam. 2021. "Visualisation of Naturally Ventilated House in Tropical Hilly Area of Indonesia, Case Study: Vatutela Village, Tondo Hills, Palu." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 926 (1): 012056.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012056>.
- Fitriaty, Puteri, Zhenjiang Shen, and Andi Chairul Achsan. 2019. "Daylighting Strategies in Tropical Coastal Area." *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development* 7 (2): 75–91.
https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14246/irspsd.7.2_75.
- Huang, Lizhen, Yongping Liu, Guri Krigsvoll, and Fred Johansen. 2018. "Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost of University Dormitories in the Southeast China: Case Study of the University Town of Fuzhou." *Journal of Cleaner Production* 173: 151–59.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.021>.
- Karlen, Mark, and James Benya. 2004. *Lighting Design Basics*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Khajehzadeh, Iman, and Brenda Vale. 2016. "Shared Student Residential Space: A Post Occupancy Evaluation." *Journal of Facilities Management* 14 (2): 102–24.
<https://doi.org/10.1108/JFM-09-2014-0031>.
- Kılıçaslan, Hare. 2013. "Design of Living Spaces in Dormitories." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 92 (Lumen): 445–51.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.699>.
- Kontadakis, Antonis, Aris Tsangrassoulis, Lambros Doulos, and Stelios Zerefos. 2018. "A Review of Light Shelf Designs for Daylit Environments." *Sustainability (Switzerland)* 10 (1).
<https://doi.org/10.3390/su10010071>.
- Lechner, Norbert. 2014. *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Li, Danny H W, and Ernest K W Tsang. 2008. "An Analysis of Daylighting Performance for Office Buildings in Hong Kong." *Building and Environment* 43 (9): 1446–58.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.07.002>.
- Liddament M. 1996. "A Guide to Energy Efficient Ventilation." Coventry, Great Britain.
- Lippsmeier, Georg., K Mukerji, and S Nasution. 1997. *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
<https://books.google.co.id/books?id=0r1bHQACA AJ>.
- Lubis, Muharman, Rokhman Fauzi, Arif Ridho Lubis, and Rahmat Fauzi. 2019. "A Case Study of Universities Dormitory

- Residence Management System (DRMS) in Indonesia.” *2018 6th International Conference on Cyber and IT Service Management, CITSM 2018*, no. Citsm: 1–6.
<https://doi.org/10.1109/CITSM.2018.8674313>.
- Melaragno, Michele G. 1982. *Wind in Architectural and Environmental Design*. United Kingdom: Van Nostrand Reinhold Company.
- Moore, F. 1993. *Environmental Control Systems: Heating, Cooling, Lighting*. McGraw-Hill Architecture and Urban Planning Series. New Jersey: McGraw-Hill.
- Pacheco, R., J. Ordóñez, and G. Martínez. 2012. “Energy Efficient Design of Building: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (6): 3559–73.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>.
- Phillips, Derek. 2004. *Daylighting. Natural Light in Architecture. Industrial Medicine & Surgery*. Vol. 1.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.005>.
- Sakya, Kharista Astrini, and Anjar Primasetra. 2023. “Kenyamanan Termal Ruang Kelas Melalui Building Information Modeling (BIM)” 21 (2): 275–84.
- Stein-Zamir, C., I. Volovik, S. Rishpon, A. Atamna, A. Lavy, and D. Weiler-Ravell. 2006. “Tuberculosis Outbreak among Students in a Boarding School.” *European Respiratory Journal* 28 (5): 986–91.
<https://doi.org/10.1183/09031936.06.00002506>.
- “Undang-Undang Republik Indonesia No 12 Tentang Pendidikan Tinggi.” 2012.