

SMART APARTEMENT DI MALANG TEMA ARSITEKTUR KEBERLANJUTAN

Reza Farezi Hermawan¹, Adhi Widyarthara², Redi Sigit Febrianto³

¹Mahasiswa Prodi Arsitektur, Fak. Teknik Sipil dan Perencanaan, ITN Malang

^{2,3} Dosen Prodi Arsitektur, Fak. Teknik Sipil dan Perencanaan, ITN Malang

e-mail:¹rezafarezihermawan@gmail.com, ²adhiwidyarthara@gmail.com, ³redi_sigiti@lecture.itn.ac.id

ABSTRAK

Dengan keterbatasan lahan di kawasan perkotaan yang semakin meningkat dan tingginya potensi radiasi matahari di Malang perkotaan, integrasi teknologi canggih dalam desain bangunan menjadi krusial untuk mencapai efisiensi energi dan keberlanjutan. Perancangan ini mengevaluasi penerapan metodologi *force-based* dan teknologi pintar pada bangunan mid-rise di Kecamatan Lowokwaru, yang dirancang sebagai hunian vertikal dengan tema arsitektur berkelanjutan. Perancangan ini menganalisis tiga bangunan yang telah menerapkan teknologi manajemen otomatis dan perangkat IoT. Pendekatan *force-based* digunakan untuk menganalisis distribusi gaya eksternal pada struktur, seperti beban mati, beban hidup, angin, dan gempa, guna memastikan stabilitas dan keamanan bangunan. Hasil Perancangan menunjukkan bahwa penerapan teknologi pintar dan pendekatan *force-based* dapat meningkatkan efisiensi energi, mengurangi dampak lingkungan, serta meningkatkan respons bangunan terhadap gaya eksternal dan kebutuhan penghuni. Implementasi hunian vertikal ini sangat relevan di Malang perkotaan, di mana keterbatasan lahan menjadi tantangan utama, berbeda dengan Malang Kabupaten yang masih memiliki lahan lebih luas. Perancangan ini memberikan wawasan penting tentang peran teknologi dan metodologi *force-based* dalam mendukung arsitektur berkelanjutan dan menghadapi tantangan urbanisasi di kawasan perkotaan seperti Malang.

Kata kunci : Bangunan Pintar, Mid-Rise Buildings, Arsitektur Keberlanjutan.

ABSTRACT

With the increasing land constraints in urban areas and the high potential for solar radiation in urban Malang, integrating advanced technology into Building design is crucial for achieving energy efficiency and sustainability. This study evaluates the application of force-based methodology and smart technology in mid-rise Buildings in Lowokwaru District, designed as vertical housing with a sustainable architecture theme. The design analyzes three Buildings that have implemented automated management technologies and IoT devices. The force-based approach is used to analyze the distribution of external forces on the structure, such as dead loads, live loads, wind, and earthquakes, to ensure the stability and safety of the Buildings. The research findings indicate that the application of smart technology and the force-based approach can enhance energy efficiency, reduce environmental impact, and improve the Building's response to external forces and occupant needs. The implementation of vertical housing is highly relevant in urban Malang, where land constraints are a major challenge, in contrast to Malang Regency, which still has more available land. This research provides valuable insights into the role of technology and

the force-based methodology in supporting sustainable architecture and addressing the challenges of urbanization in cities like Malang.

Keywords : Smart Building, Mid-Rise Buildings, Sustainability Architecture

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kawasan perkotaan menghadapi tantangan keterbatasan lahan akibat urbanisasi pesat. Di Tlogomas, Lowokwaru, dengan 19.826 jiwa pada 2021 dan luas 1,968 km². (BPS, 2021). Jika dihitung kebutuhan luas per orang akan mendapatkan 90m²/jiwa. Meskipun lahan cukup, kepadatan terasa tinggi karena masyarakat terkonsentrasi di area jalan utama, yang disebabkan oleh peluang ekonomi dan akses yang lebih baik di pusat kota (Doe & Smith, 2023). Hal ini disebabkan oleh pentingnya peluang ekonomi dan akses di era ini, sehingga banyak yang lebih memilih keterbatasan di tengah kota. Oleh karena itu, keterbatasan ini memerlukan pendekatan desain yang inovatif untuk mengoptimalkan penggunaan ruang dan meningkatkan kualitas hunian. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penerapan desain bangunan mid-rise yang memanfaatkan ruang vertikal secara efisien. Pendekatan ini sejalan dengan upaya global dan nasional dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Misalnya, Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) menekankan pentingnya pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan lahan, sejalan dengan isu-isu terkini seperti perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya alam. Hal ini juga tercermin dalam berbagai kebijakan daerah yang mendorong pembangunan yang berwawasan lingkungan dan penggunaan lahan yang lebih efisien, guna menciptakan kota yang lebih berkelanjutan dan layak huni.

Dalam konteks ini, penerapan teknologi *smart Building* menjadi kebutuhan mendesak dalam menghadapi urbanisasi pesat dan keterbatasan lahan menuntut solusi efisien untuk mengelola ruang dan sumber daya di lingkungan perkotaan. Krisis energi global dan perubahan iklim mendorong perlunya bangunan yang hemat energi dan ramah lingkungan. Teknologi *smart Building* tidak hanya meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni tetapi juga dapat beradaptasi dengan perkembangan teknologi yang pesat. Di era ini, bangunan pintar dapat merespons kebutuhan penghuni dan lingkungan secara *real-time* serta mematuhi regulasi lingkungan yang ketat. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2021), Indonesia memiliki potensi radiasi matahari yang tinggi, mencapai sekitar 4.8 - 6.0 kWh/m²/hari, yang memberikan peluang besar untuk pemanfaatan panel surya dalam *smart Building*. Selain itu, potensi angin dan energi hidroelektrik di beberapa daerah juga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keberlanjutan bangunan. Dengan kemajuan teknologi dan potensi energi terbarukan ini, *smart Building*

menjadi solusi vital untuk menciptakan kota yang berkelanjutan, aman, dan cerdas dalam menghadapi tantangan masa depan.

Di sisi lain, metodologi *force-based* merupakan pendekatan desain yang mempertimbangkan berbagai aspek dan hambatan yang ada di lokasi, termasuk faktor sosial, ekonomi, dan geografis. Pendekatan ini tidak hanya fokus pada aspek teknis struktural, tetapi juga memperhitungkan kondisi lingkungan sekitar, kebutuhan masyarakat, serta potensi kendala yang dapat memengaruhi rancangan bangunan. Dengan memahami konteks lokal secara menyeluruh, metodologi ini memastikan bahwa desain bangunan dapat merespons tantangan spesifik di setiap lokasi secara efektif, sehingga menciptakan solusi arsitektur yang lebih holistik dan adaptif.

Tujuan Perancangan

- Mendesain bangunan *mid-rise* yang memanfaatkan ruang vertikal secara efisien untuk mengatasi keterbatasan lahan di kawasan perkotaan, sehingga dapat menyediakan hunian yang fungsional dan berkualitas di area dengan ruang terbatas.
- Menerapkan teknologi canggih, seperti sistem manajemen otomatis dan perangkat IoT, untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni. Teknologi ini bertujuan untuk memantau dan mengelola operasional bangunan secara real-time, serta mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan kualitas hidup di dalam bangunan.

Rumusan Masalah

- Bagaimana cara mengoptimalkan penggunaan ruang vertikal pada bangunan *mid-rise* untuk mengatasi keterbatasan lahan di kawasan perkotaan seperti Kecamatan Lowokwaru?
- Bagaimana penerapan teknologi canggih, seperti sistem manajemen otomatis dan perangkat IoT, dapat meningkatkan performa bangunan pintar dalam hal efisiensi energi dan kenyamanan penghuni?
- Dalam konteks arsitektur berkelanjutan, bagaimana kombinasi metodologi *force-based* dan teknologi IoT dapat mendukung desain bangunan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan sesuai dengan prinsip keberlanjutan di kawasan perkotaan yang padat?

Tinjauan Tema

Berbagai Perancangan menunjukkan bahwa penerapan arsitektur pintar dan prinsip keberlanjutan dalam desain bangunan menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan urbanisasi dan perubahan iklim. Menurut Frighi (2022), dalam bukunya *Smart Architecture – A Sustainable Approach for Transparent Building Components Design*, penggunaan elemen transparan yang adaptif dapat meningkatkan pencahayaan alami dan efisiensi energi.

Jahandideh, Tabibian, Mohagheghi, & Kalantari (2014) menyatakan bahwa *smart Building* merupakan cara efektif untuk mencapai arsitektur berkelanjutan melalui integrasi teknologi yang mengoptimalkan pengelolaan energi dan mengurangi dampak lingkungan. (Smith dan Jones,2021) menekankan peran teknologi IoT dalam mengoptimalkan sistem bangunan cerdas, memungkinkan pengelolaan energi secara *real-time* dan meningkatkan kenyamanan penghuni. Selain itu, Achal & Chin (2021) menunjukkan bahwa keberlanjutan arsitektur dapat dicapai melalui desain bangunan yang tidak hanya hemat energi tetapi juga menggunakan material ramah lingkungan dan dapat diperbarui. Perancangan ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana prinsip-prinsip tersebut dapat diintegrasikan dalam konteks perkotaan berkembang dengan keterbatasan lahan, seperti di Kecamatan Lowokwaru, melalui penerapan teknologi pintar dan desain berkelanjutan.

Tabel 1.
Prinsip *Smart Building*

Referensi	Fokus Utama	Elemen <i>Smart Building</i>	Keberlanjutan	Penerapan Teknologi
Frighi, V. (2022)	Desain arsitektur dengan elemen transparan untuk efisiensi energi	Integrasi pencahayaan alami dan teknologi adaptif	Mengurangi jejak karbon melalui desain efisien	Penggunaan teknologi transparan dan otomatisasi
Jahandideh, F. et al. (2014)	Penerapan <i>smart Building</i> sebagai alat untuk mencapai arsitektur berkelanjutan	Optimalisasi pengelolaan energi melalui teknologi cerdas	Pengurangan dampak lingkungan melalui sistem efisien	Integrasi sistem manajemen energi berbasis IoT
Smith & Jones (2021)	Teknologi IoT untuk meningkatkan kenyamanan penghuni dan efisiensi energi	Pengelolaan real-time terhadap fungsi bangunan	Mendukung keberlanjutan dengan mengurangi konsumsi energi	IoT sebagai solusi untuk kontrol bangunan yang dinamis
Achal & Chin(2021)	Penggunaan material ramah lingkungan untuk keberlanjutan bangunan	Fokus pada bahan bangunan yang dapat diperbarui	Mengurangi emisi dan energi yang digunakan dalam bangunan	Penggunaan bahan yang ramah lingkungan dan efisien

Sumber: Analisa, 2024

Tinjauan Fungsi

Perancangan ini mengidentifikasi beberapa fungsi utama dalam perancangan bangunan pintar berkelanjutan di kawasan perkotaan. Fungsi-fungsi ini mencakup optimasi ruang, efisiensi energi, dan kenyamanan penghuni. Untuk mendalami aplikasi fungsi-fungsi tersebut, beberapa referensi dari proyek serupa dianalisis dan dijadikan bahan perbandingan:

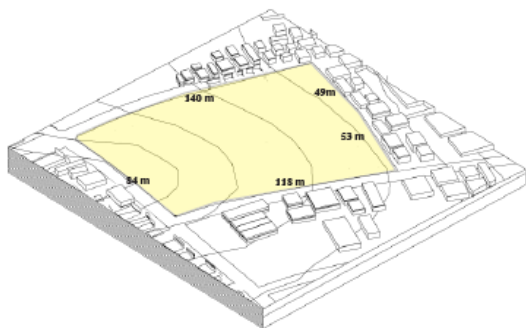
Tabel 2.
Tinjauan Fungsi

Referensi	Fungsi Utama	Penerapan Desain
<i>Surry Hills Library and Community Centre / FJMT(Diakses dari www.ArchDaily.com,2023).</i>	Ruang Komunitas dan Perpustakaan	Ventilasi alami, pencahayaan maksimal melalui <i>skylight</i> , dan penggunaan material daur ulang untuk efisiensi energi.
<i>Bangunan Pintar di Manhattan, New York(Diakses dari www.ArchDaily.com,2023).</i>	Pengelolaan Energi dan Kenyamanan Penghuni	Sistem IoT untuk mengontrol suhu, pencahayaan, dan keamanan secara otomatis berdasarkan kebutuhan penghuni.
<i>Proyek Green Building, Singapura(Diakses dari www.ArchDaily.com,2023).</i>	Efisiensi Energi dan Penggunaan Material	Desain bangunan dengan pemanfaatan energi terbarukan serta material yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui.

Sumber: Analisa, 2024

Tinjauan Tapak

Tapak yang terletak di Jalan Puncak Borobudur, Kecamatan Tlogomas, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, merupakan lahan kosong seluas 10.970 m² dengan rencana pembangunan seluas 15.353,5 m². Lahan ini diperuntukkan untuk fungsi hunian, keagamaan, usaha, sosial dan budaya, serta fungsi khusus. Menurut peraturan pemerintah Kota Malang, Koefisien Dasar Bangunan (KDB) untuk tapak ini adalah 40-60%, yang berarti hingga 60% dari luas tapak dapat digunakan untuk bangunan. Dengan rencana luas bangunan yang melebihi batas KDB, penyesuaian desain mungkin diperlukan. Koefisien Lantai Bangunan (KLB) diizinkan antara 1,2 - 3, dan dengan rencana luas bangunan sebesar 15.353,5 m², KLB yang tercapai adalah 1,53, berada dalam batas yang diperbolehkan. Garisan Sempadan Jalan (GSJ) harus minimal 50% dari lebar jalan utama, yang menjaga ruang terbuka dan aksesibilitas



Gambar 1
Lokasi Tapak
Sumber : Analisa, 2024

Adapun batas lingkungan pada tapak yaitu :

- a. Batas Utara : Permukiman Warga(jalan Tersier)
- b. Batas Timur : Terdapat Madrasa dan SMK
- c. Batas Selatan : Permukiman Warga(jalan skunder)
- d. Batas Barat : Jalan Utama Penghubung Kota Malang dan Kota Batu.
- e.

Tinjauan Program Ruang

a. Fasilitas Utama

Tabel 2.
Fasilitas Utama

No	Fasilitas	Besaran m ²
1	Lobby	60
2	Lounge	50

3	Recepcionist	12
4	Unit Studio	1920
5	Kamar Deluxe Type a	5760
6	Kamar Deluxe Type b	3360
Total besaran		11.162

Sumber: Analisa, 2024

b. Fasilitas Penunjang

Tabel 3.
Fasilitas Penunjang

No	Fasilitas	Besaran m ²
1	Cafetaria	120
2	Restaurant	200
3	Perputstakaan	240
4	Musholah	60
5	Fitness Centre	100
6	Kolam Renang	37.5
7	Market	70
8	Parkir Basement	2440
Total besaran		3.267,5

Sumber: Analisa, 2024

c. Fasilitas Pengelola

Tabel 4.
Fasilitas pengelola

No	Fasilitas	Besaran m ²
1	Center Room	60
2	Server Room	25
3	Ruang Pengelolah	60
4	Ruang arsip	60
5	Ruang Marketing	16
6	Ruang Owner	36
7	Kantor Manager	120
8	Toilet dan Ruang Ganti	60
Total besaran		347

Sumber: Analisa, 2024

d. Fasilitas Service

Tabel 5.
Fasilitas Service

No	Fasilitas	Besaran m ²
1	Ruang Security	6
2	Ruang Panel dan trafol	60
3	Ruang STP	30
4	Ruang BAS	40
5	Gudang	120
6	Ruang chiller	40
7	Ruang Generator	45
8	Fan Room	6
9	Ruang GWT	30
10	Janitor	20
11	Pantry	180

Total besaran	577
---------------	-----

Sumber: Analisa, 2024

e. Ruang Luar

Tabel 6.
Ruang luar

No	Fasilitas	Besaran m ²
1	Parkir Mobil	900
2	Parkir sepeda	311
4	Drop off	36
5	Pos Satpam	9
Total besaran		1.256

Sumber: Analisa, 2024

f. Total Luasan Ruang

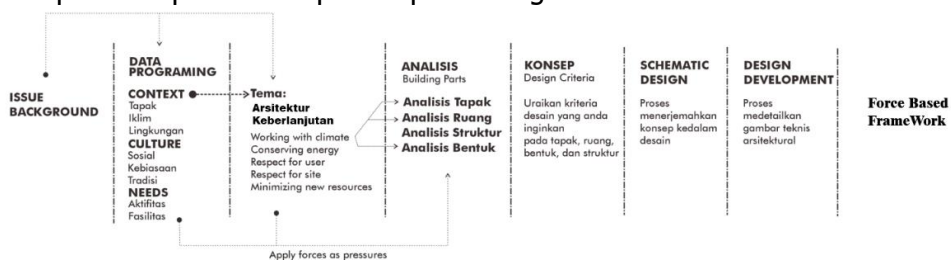
Tabel 7.
Total luasan ruang

No	Fasilitas	Besaran m ²
1	Ruang utama	11.162
2	Ruang penunjang	3.267,5
3	Ruang pengelola	347
4	Ruang service	577
Total besaran		15.353,5

Sumber: Analisa, 2024

KERANGKA PERANCANGAN

Proses perancangan arsitektur ada serangkaian tahapan yang dilakukan untuk menciptakan desain bangunan yang ingin diciptkan dengan beberapa pertimbangan yang menjadi fokus arsitek, seperti yang menjadi fokus saya yaitu memenuhi kebutuhan dan keinginan pengguna. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam proses perancangan arsitektur:



Gambar 2
Metode

Sumber : Analisa, 2024

Dalam diagram proses perancangan ini dimulai dengan memahami fungsi bangunan yang mencakup hunian, keagamaan, usaha, sosial, dan budaya. Desain harus mengakomodasi berbagai kegiatan ini dengan efisien. Tema yang diusung adalah keberlanjutan dan teknologi pintar, yang akan memandu pemilihan material ramah lingkungan dan sistem teknologi

canggih. Tapak proyek terletak di Jalan Puncak Borobudur, Kecamatan Tlogomas, Kota Malang, dan Peraturan ruang mencakup Koefisien Dasar Bangunan KDB, KLB dan GSJ, yang perlu dipatuhi untuk memastikan desain yang sesuai dengan regulasi dan optimalisasi penggunaan lahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Tapak

Konsep tapak dan zoning adalah respon pada eksisting tapak untuk menentukan area area tertentu berdasarkan kebutuhan seperti penentuan area public yang tidak memerlukan suasana yang tenang dan privasi dan lain sebagainya.



Gambar 3
Analisa Tapak
Sumber : Analisa, 2024



Gambar 4
Konsep Tapak
Sumber : Analisa, 2024

Konsep Bentuk

Konsep bentuk bangunan mengikuti prinsip arsitektur keberlanjutan, di mana bentuk bangunan dirancang untuk memaksimalkan elemen alami pada tapak seperti matahari, angin, dan pemandangan. Prinsip ini mendukung

efisiensi energi dan kenyamanan penghuni dengan memanfaatkan kondisi lingkungan secara optimal (Frigi, 2022). Seperti yang diungkapkan oleh Frighi dalam bukunya *Smart Architecture – A Sustainable Approach for Transparent Building Components Design*, bentuk bangunan yang responsif terhadap faktor-faktor alami tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga meningkatkan kualitas hidup penghuni. Selain itu, efisiensi dalam penataan massa bangunan juga menjadi pertimbangan utama untuk mencapai keseimbangan antara lingkungan alami dan kebutuhan manusia (Jahandideh et al., 2014; Smith & Jones, 2021).

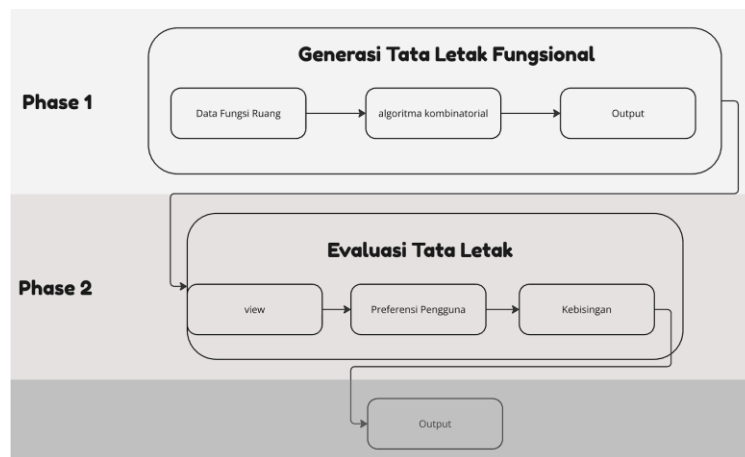


Gambar 5
Konsep Bentuk
Sumber : Analisa, 2024

Konsep Ruang

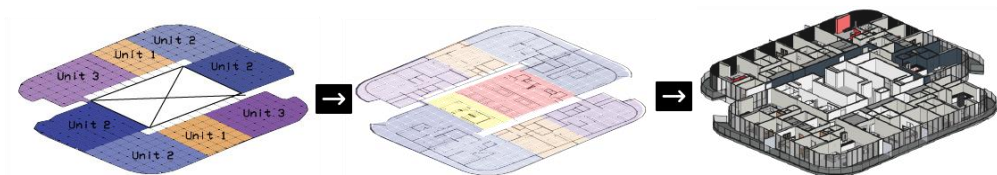
Konsep ruang bangunan berlandaskan prinsip arsitektur keberlanjutan, dengan bentuk yang dirancang untuk memaksimalkan pencahayaan dan penghawaan alami. Optimasi tata letak ruang memperhitungkan fungsi ruang, paparan sinar matahari, kualitas pemandangan, dan perlindungan dari kebisingan eksternal (Frigi, 2022).

Proses optimasi terdiri dari dua fase: pertama, penggunaan algoritma kombinatorial untuk menghasilkan berbagai alternatif tata letak ruang fungsional (Zawidzki & Szklarski, 2014); kedua, evaluasi tata letak tersebut dengan mempertimbangkan preferensi pengguna dan kondisi lingkungan, termasuk pengukuran kebisingan dan kualitas pemandangan, untuk menentukan posisi dan orientasi optimal setiap ruang.



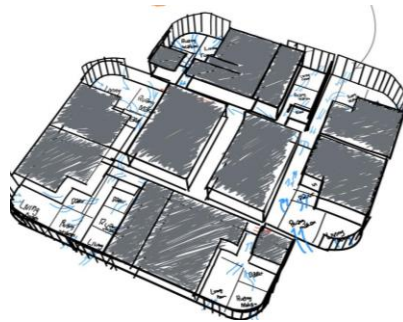
Gambar 6
Diagram Konsep Ruang
Sumber : Analisa, 2024

Algoritma ini tidak hanya memproses tata letak berdasarkan fungsionalitas tetapi juga mempertimbangkan berbagai kriteria penting seperti kenyamanan pengguna, efisiensi energi, dan kualitas lingkungan. Dengan menggabungkan data dari preferensi pengguna dan kondisi lingkungan, algoritma ini mampu menemukan solusi tata letak yang optimal, memastikan bangunan mendukung keberlanjutan sekaligus memenuhi kebutuhan pengguna dengan lebih efektif.



Gambar 7
Proses dari Fungsi ruang,
Denah arsitektur hingga virtual bangunan
Sumber : Analisa, 2024

Dalam gambar skematik ini, selain indikator pencahayaan alami, aliran angin, dan kebisingan, terdapat satu kriteria desain baru: menyatukan dapur, ruang tamu, dan ruang makan menjadi satu ruang multifungsi. Penyatuan ini mengoptimalkan sirkulasi dan efisiensi ruang, memastikan pencahayaan dan ventilasi maksimal, serta menjaga kenyamanan dan kehangatan ruang sosial.



Gambar 8
Konsep Ruang Respon Desain Pasif
Sumber : Analisa, 2024

Penataan ruang yang memperhitungkan aspek-aspek ini memastikan bahwa bangunan tidak hanya memenuhi fungsi dan estetika, tetapi juga beradaptasi secara dinamis terhadap kebutuhan dan preferensi pengguna, mendukung prinsip keberlanjutan.

Konsep Struktur

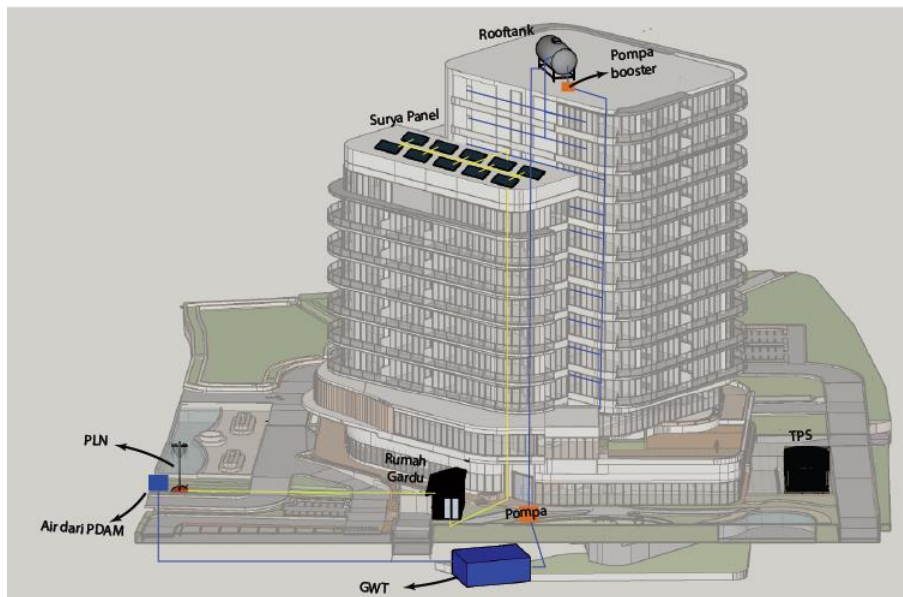
Konsep struktur dalam desain bangunan mengikuti tata ruang bangunan dan jenis struktur yang digunakan. Dalam konteks ini, struktur utama bangunan sering kali mengadopsi sistem *core* dan *shearwall* untuk memastikan stabilitas dan efisiensi struktural. Teknologi canggih seperti CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) memainkan peran penting dalam meningkatkan performa *shearwall*.kekuatan dan kekakuannya yang tinggi, diterapkan pada dinding dan *shearwall* untuk memperkuat struktur dan meningkatkan kapasitas beban serta ketahanan terhadap gaya(Bastianini, F., Corradi, M., Borri, A., & di Tommaso, A., 2023). Penerapan CFRP pada *shearwall* dapat mengurangi kebutuhan untuk perbaikan struktural yang mahal, meningkatkan daya tahan terhadap beban lateral, dan memperpanjang umur layanan struktur.



Gambar 9
Konsep Struktur
Sumber : Analisa, 2024

Konsep Utilitas

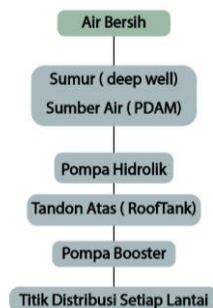
Utilitas terdiri atas air bersih, air kotor, air hujan, jaringan listrik, proteksi kebakaran hingga penghawaan. Dalam hal ini, penerapan tema *Sustainability Architecture* dan fungsi bangunan diterapkan



Gambar 10
Konsep Utilitas
Sumber : Analisa, 2024

Air Bersih

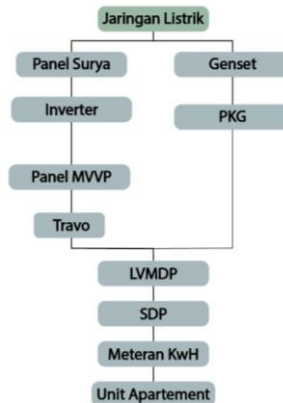
Untuk utilitas air bersih dengan sumber air dari PDAM dan sumur, *Down Feed System* menjadi alternatif sistem distribusi air bersih untuk bangunan berlantai banyak. Kelebihan *Down Feed System* yaitu penggunaan rooftank dan groundtank sehingga air bersih selalu tersedia dan pompa tidak bekerja terus menerus.



Gambar 11
Flow-Chart Air Bersih
Sumber : Analisa, 2024

Jaringan Listrik

Konsep jaringan elektrik menggunakan sumber daya dari panel surya. Sebagai penerapan prinsip hemat energi jaringan disalurkan langsung melalui *power house*.



Gambar 11
Flow-Chart Air Bersih
Sumber : Analisa, 2024

Proteksi Kebakaran

Keamanan pengguna bangunan diterapkan dengan adanya sistem proteksi kebakaran. Proteksi kebakaran untuk pencegahan kebakaran melalui langkah aktif maupun pasif sesuai persyaratan teknis sistem proteksi kebakaran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 26/PRT/M/2008.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari perancangan ini menegaskan pentingnya penerapan teknologi canggih dan pendekatan arsitektur yang berkelanjutan dalam menghadapi tantangan keterbatasan lahan di kawasan perkotaan. Dengan menggunakan metodologi *force-based* dan teknologi pintar, seperti IoT dan manajemen otomatis, desain bangunan mid-rise di Kecamatan Lowokwaru berhasil mengoptimalkan ruang vertikal serta meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni. Analisis distribusi gaya eksternal pada struktur memastikan stabilitas bangunan dalam kondisi lingkungan yang dinamis. perancangan ini juga menggaris bawahi relevansi penerapan arsitektur berkelanjutan di Malang perkotaan, di mana keterbatasan lahan dan tingginya potensi radiasi matahari memerlukan solusi desain yang inovatif dan adaptif terhadap perubahan iklim serta kebutuhan penghuni di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achal, V. &. (2021). *Building Materials for Sustainable and Ecological Environment*. Singapore: Springer. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8892-1>
- Bastianini, F. C. (2023). Retrofit and Monitoring of a Historical Building Using "Smart" CFRP with Embedded Fibre Optic Brillouin Sensors. *Journal of Structural Engineering*.
- Doe, J. &. (2023). Efficient Space Utilization in Urban Mid-Rise Buildings. *Journal of Urban Planning*(3), 123-145. doi:10.1234/jup.2023.56789
- Frigli, V. (2022). *Smart Architecture – A Sustainable Approach for Transparent Building Components Design*. Cham: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-030-77606-0>
- Jahandideh, S. T. (2014). Smart Building as an approach to sustainable architecture: Integration of technology and energy management. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(2), 123-135.
- Malang, B. P. (2024, Februari 28). *Kota Malang Dalam Angka 2024*". Retrieved from BPS Kota Malang: <https://malangkota.bps.go.id/publication/2024/02/28/e7d11012c6940bb521e9c100/kota-malang-dalam-angka-2024>
- ResearchGate. (2023). *Standart Land Area Per Person in Urban Areas*. Retrieved from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/325123456_Standard_Land_Area_Per_Person_in_Urban_Areas
- Smith, A. &. (2021). The role of IoT in optimizing smart Building systems for energy management. *ournal of Smart Building and Home Automation*, 6(1), 45-60.
- Smith, J. (2023). The impact of urban design on community health. *Journal of Urban Studies*, 45(2), 123-145.
- Zawidzki, M. &. (2020). Multi-objective optimization of the floor plan of a single story family house considering position and orientation. *Procedia Engineering*, 123, 527-534.