

ZERO-ENERGY VERTICAL HOUSING DENGAN PENDEKATAN ARSITEKTUR BIOFILIK DI KOTA BOGOR

Muhammad Aditya Rivaldi, Kusumaningdyah Nurul Handayani
Prodi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta
rivaldiadit77@gmail.com

Abstrak

Setiap orang saat ini merasakan efek yang nyata dari pemanasan global. Walaupun hal ini merupakan fenomena alam yang normal, kecepatan peningkatan suhu dunia telah meningkat secara mengkhawatirkan sejak Revolusi Industri. Hal ini mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu secara signifikan yang mampu mengakibatkan perubahan iklim, dan mengakibatkan munculnya berbagai macam ancaman serius berupa cuaca ekstrem dan bencana alam lainnya, yang disebabkan karena penggunaan bahan bakar beremisi sehingga berakibat kepada kenaikan suhu bumi. Fenomena ini kemudian dihubungkan dengan kondisi Kota Bogor sebagai kota satelit dari Jakarta, yang mendapat limpahan penduduk dari daerah kabupaten sehingga memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi, sehingga membutuhkan model hunian vertikal untuk penghematan lahan. Tujuan penelitian ini adalah menyusun sebuah konsep hunian vertikal yang mengadopsi prinsip-prinsip untuk mengurangi akibat secara langsung dari pemanasan global. Metode penelitian yang digunakan terdiri dari empat tahap, yaitu identifikasi masalah, eksplorasi data, pengolahan data, dan penyusunan konsep. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah konsep hunian vertikal yang dirancang untuk mengadopsi energi terbarukan sebagai sumber energi utama, pengolahan tapak yang memperhatikan pembagian zona emisi, dan penekanan pendekatan Arsitektur Biofilik pada masing-masing model hunian, agar mampu menciptakan kenyamanan dan mengurangi efek secara langsung terhadap pemanasan global.

Kata kunci : Zero-Energy, Hunian Vertikal, Arsitektur Biofilik, Pemanasan Global, Kota Bogor

1. PENDAHULUAN

Rumah merupakan kebutuhan mendasar bagi manusia sebagai tempat berteduh, bernaung dan beristirahat. Akan tetapi, semakin meningkatnya jumlah penduduk dan semakin sempitnya lahan yang ada membuat kebutuhan rumah semakin sulit, dan/atau semakin mahal untuk didapatkan. Salah satu kota yang terdampak dari masalah penduduk dan lahan adalah kota Bogor. Kendati memiliki penduduk sebanyak 1,05 juta jiwa, kota Bogor memiliki luas daerah yang terbilang kecil, sekitar 118 km persegi (BPS Kota Bogor, 2019). Solusi yang ditawarkan untuk kepadatan penduduk yang tinggi dan luas lahan yang kecil selalu sama, yaitu dengan membangun hunian vertikal.

Selain kebutuhan Kota Bogor akan hunian vertikal, kota Bogor juga memiliki daya tarik tersendiri bagi peminat properti hunian, yaitu iklim dan cuaca Kota Bogor yang berbeda dari kota satelit lainnya (Jakarta, Depok, Tangerang dan Bekasi). Kota Bogor yang dijuluki sebagai “Kota Hujan” ini memang memiliki curah hujan yang lebih tinggi dari kota lainnya. Selain itu, kota Bogor juga terletak di dataran yang lebih tinggi dari kota satelit lainnya sehingga memiliki cuaca yang lebih dingin dan sejuk. Karena beberapa hal inilah kota Bogor mengalami “ledakan” hunian vertikal sejak tahun 2015

hingga sekarang. Akan tetapi, ada kalanya juga iklim di kota Bogor tidak berkesesuaian dengan apa yang dibayangkan oleh pemburu properti hunian.

Kota Bogor, seperti hampir seluruh wilayah di dunia, mengalami kenaikan suhu secara periodik. Fenomena kenaikan suhu ini disebabkan oleh pemanasan global. Penyebab utama dari pemanasan global adalah partikel polutan yang sangat berlebih di udara, salah satunya adalah CO₂ yang menyusun 76% dari total emisi dan polutan yang saat ini ada di bumi (c2es.com, 2015). CO₂ ini dihasilkan dari penggunaan energi tidak terbarukan, seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi, yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, pembangkit listrik dan sebagainya. Sektor dengan konsumsi energi terbesar untuk saat ini Indonesia adalah Sektor Rumah Tangga yang mengkonsumsi energi sebesar 33 persen dari konsumsi energi nasional (Kementerian ESDM, 2018). Sektor Rumah Tangga yang dimaksud adalah segala bentuk rumah tangga, seperti rumah, rumah susun, dan hunian vertikal.

Arsitektur dapat berperan penting dalam menciptakan lingkungan yang mendukung (Afriyani et al, 2023), yang kemudian mampu membantu menyelesaikan masalah-masalah yang ada di sebuah lokus. Maka dari itu, untuk mencegah pemanasan global diperlukan sebuah sistem energi terbarukan yang terintegrasi dengan sebuah bangunan sehingga bangunan mampu menghasilkan energi terbarukan sendiri dan tidak bergantung pada energi tidak terbarukan. Berangkat dari dua permasalahan di atas, maka solusi desain yang ditawarkan adalah dengan membangun hunian vertikal yang mampu menyediakan hunian dengan lingkungan yang memberikan fasilitas interaksi sosial, sekaligus berkemampuan untuk memproduksi energi bersih di dalam site yang akan digunakan sepenuhnya untuk kebutuhan fungsi dan utilitas dari vertical housing.

Solusi desain yang ditawarkan ini akan membantu menyelesaikan permasalahan kebutuhan hunian vertikal dan ledakan penduduk di Kota Bogor dan juga mempromosikan penggunaan energi bersih untuk sector rumah tangga. Salah satu konsep desain untuk bangunan hemat energi yang ditawarkan adalah zero-energy building. Konsep Zero-Energy atau Zero-Energy Building, atau bisa disebut juga Zero Net Emission) adalah bangunan dimana total konsumsi energi pada bangunan per tahun sama dengan atau lebih dari total energi terbarukan yang dihasilkan di bangunan tersebut (Torcellini et al, 2006). Konsep desain zero-energy ini kemudian akan digabungkan dengan konsep hunian vertikal dengan pendekatan Arsitektur Biofilik.

Sebagai jembatan antara konsep zero-energy building dan fungsi bangunan sebagai hunian vertikal, maka Arsitektur Biofilik dipilih sebagai model pendekatan, dikarenakan mampu memaksimalkan efek positif alam, meningkatkan kualitas hidup (Wardhani et al, 2023), dan selaras dengan prinsip berkelanjutan (yang ada pada prinsip zero-energy building, Arsitektur Biofilik akan berkontribusi dalam penyediaan area hijau dan vegetasi yang dibutuhkan untuk menyerap emisi yang dihasilkan di dalam site, yang berarti meningkatkan efektivitas zero-energy building.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan terbagi menjadi beberapa tahapan analisis maupun penyusunan strategi desain. Adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi Masalah

Masalah yang diambil sebagai latar belakang dari penyusunan konsep perencanaan dan perancangan ini adalah permasalahan pemanasan global sebagai masalah makro dan permasalahan ledakan penduduk akibat transmigran di Kota Bogor. Setelah penentuan permasalahan dan persoalan, penulis menentukan target, sasaran dan tujuan dari

permasalahan yang ada, sehingga konsep perencanaan dan perancangan ini mampu menyelesaikan permasalahan yang telah ditetapkan dengan tepat.

2. Eksplorasi Data

Eksplorasi Data adalah sebuah proses untuk memperoleh data-data yang diperlukan untuk memecahkan masalah yang telah ditetapkan. Data-data yang dibutuhkan antara lain dapat dibagi menjadi dua tipe data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari observasi langsung penulis, yang dilakukan untuk mengetahui kondisi secara riil yang terjadi di Kota Bogor, baik secara sadar maupun tidak sadar. Sedangkan data sekunder adalah data yang didapatkan dari studi literatur dan studi preseden, yang kemudian dimanfaatkan untuk menyusun konsep perencanaan dan perancangan.

3. Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh akan diverifikasi, ditulis ulang, dan dirumuskan untuk dijadikan sebuah data yang mampu memberikan informasi sehingga dapat dipahami dengan baik untuk perumusan Konsep.

4. Penyusunan Konsep Perencanaan dan Perancangan

Konsep desain merupakan hasil dari rangkaian tahapan identifikasi masalah hingga pengolahan data untuk menjawab persoalan desain yang telah dirumuskan pada tahap awal. Penyusunan konsep ini haruslah sejalan dengan analisis data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Net Zero-Energy Building (net ZEB) adalah bangunan dengan kebutuhan energi rendah yang dicapai dengan cara efisiensi struktur maupun tampilan bangunan, sehingga energi yang dibutuhkan dapat ditutup dengan energi terbarukan yang dihasilkan di dalam bangunan tersebut (Torcellini et al, 2006). Teori Zero-Energy Building ini berhubungan secara langsung dengan strategi desain pasif. Desain pasif adalah desain yang bekerja bersama dengan alam untuk mengurangi generasi panas dan dingin di dalam bangunan, sekaligus memanfaatkan pencahayaan matahari dan aliran angin (Cairns Regional Council, 2011). Prinsip utama dari desain pasif adalah meminimalisir panas di dalam bangunan dengan orientasi bangunan, shading, insulator, dan penerapan elemen reflektor cahaya dan panas. Penerapan teori Zero-Energy Building dan strategi desain pasif di dalam hunian vertikal ini diterapkan pada konsep tapak, konsep zonasi, konsep tampilan dan konsep utilitas bangunan.

Selain itu, Arsitektur Biofilik juga ditawarkan sebagai metode pendekatan yang digunakan untuk menghubungkan antara fungsi bangunan sebagai Zero-Energy Building dan fungsi bangunan sebagai hunian vertikal. Arsitektur biofilik adalah pendekatan desain yang berusaha menciptakan hubungan positif dan harmonis antara manusia dan alam dalam lingkungan binaan (Kellert et al, 2008). Arsitektur biofilik mengintegrasikan unsur-unsur, bentuk, pola, material, dan proses alam ke dalam desain bangunan dan lanskap, serta budaya dan ekologi tempat. Penerapan Arsitektur Biofilik ini diterapkan melalui aplikasi 14 Prinsip Desain Biofilik yang dikemukakan oleh Browning, Ryan dan Clancy (2014).

1. Penerapan *Zero-Energy Building* pada Konsep Tapak

Prinsip Zero-Energy Building dan Strategi Desain Pasif digunakan untuk menentukan lokasi tapak dan orientasi bangunan. Tapak berlokasi di sisi barat tol Jagorawi di Kelurahan Katulampa, berdekatan dengan Perumahan Bogor Raya. Lokasi ini dipilih sebagai tapak

untuk perancangan hunian vertikal dikarenakan peruntukan tanah yang sesuai dan ketersediaan lahan luas yang tidak banyak terobstruksi bangunan tinggi, sehingga penetrasi sinar matahari ke dalam site dapat terjadi tanpa hambatan sebagai sumber energi terbarukan. Bangunan diposisikan di dalam site dengan mempertimbangkan pencahayaan dan penghawaan di sekitar area site. Untuk peletakan bangunan bisa diamati pada **Gambar 3.1**.

2. Penerapan Arsitektur Biofilik pada Konsep Tapak

Selain mempertimbangkan prinsip Zero-Energy Building dan Strategi Desain Pasif, pendekatan Arsitektur Biofilik juga dimanfaatkan untuk penentuan tapak. Tapak yang dipilih memiliki konsentrasi pepohonan yang cukup tinggi, namun masih memiliki cukup lahan bebas pohon yang bisa digunakan untuk hunian vertikal. Selain itu, orientasi bangunan juga mempertimbangkan arah sinar matahari dan arah angin, sehingga sinar matahari dan aliran udara mampu menyesuaikan secara dinamis ke dalam ruang-ruang yang ada di dalam bangunan. Hal ini merupakan penerapan dari prinsip *Thermal & Airflow Variability* dan *Dynamic & Diffuse Light*. Selain itu, tapak yang dipilih juga memiliki elemen sungai kecil yang membagi tapak menjadi dua, sekaligus menerapkan prinsip *Presence of Water*. Kondisi Site dan keberadaan vegetasi asli dapat diamati pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1

Situasi Site, Peletakan Bangunan dan Lokasi kelompok vegetasi asli pada bangunan. (Pribadi, 2023)

3. Penerapan Zero-Energy Building pada Konsep Peruangan dan Zonasi

Penerapan teori *Zero-Energy Building* lebih berfokus pada penentuan zona hunian dan zona non-hunian. Zona akan dibagi menjadi dua menurut teori *Zero-Energy Building*, yang dibagi berdasarkan tingkat emisi yang ada pada site. Zona yang pertama, yaitu Zona Tinggi Emisi merupakan zona yang diperuntukkan untuk kegiatan-kegiatan yang berpotensi menciptakan emisi yang cukup tinggi, sedangkan Zona Rendah Emisi adalah zona yang dikhususkan untuk kegiatan yang beremisi rendah, sekaligus untuk meningkatkan kenyamanan yang ada di sekitar lingkungan hunian. Alur sirkulasi kendaraan dapat diamati pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2

Alur Sirkulasi Kendaraan berdasarkan Zona Emisi dan Rendah Emisi (Pribadi, 2023)

Pembagian zona ini juga berdampak pada aksesibilitas setiap individu yang masuk ke area tapak. Semua kendaraan beremisi tidak diberikan akses masuk ke dalam zona rendah emisi, kecuali karena keadaan darurat atau pengguna disabilitas. Moda transportasi yang diperkenankan untuk masuk ke dalam zona rendah emisi adalah berjalan, bersepeda, kendaraan listrik ataupun kendaraan *hybrid*.

4. Penerapan Arsitektur Biofilik pada Konsep Peruangan dan Zonasi

Arsitektur Biofilik menitikberatkan penempatan prinsip-prinsip biofilik di area yang memiliki potensi sirkulasi tertinggi, maka dari itu intensitas unsur Arsitektur Biofilik akan berbeda pada setiap zonasi. Dua prinsip utama yang akan diterapkan, *Nature in the Space Patterns* (Pola Alam dalam Ruang), dan *Nature Natural Analogue Patterns* (Pola Analogi Alam), akan diterapkan ke setiap ruang-ruang yang dikelompokkan ke dalam **Tabel 4.1 dan 4.2**, dan untuk penerapan secara visual dapat diamati pada **Kolase Gambar 4.1**.

Tabel 4.1
Pembagian Zona dan luasan setiap Zona (Pribadi, 2023)

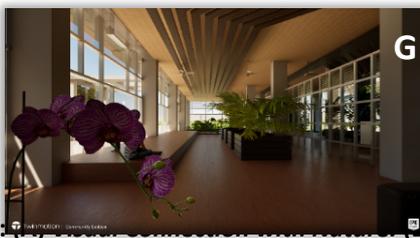
Zona	Ruangan	Luas Zona
Penerimaan	Front Office, Pusat Informasi, Ruang Administrasi, Ruang Arsip, Ruang Tamu, <i>Exhibition Room</i> , Ruang Loker	211,2 m ²
Pengelolaan	Kantor Kepala Divisi, Kantor Kepala Subdivisi, Ruang Staff, Ruang Rapat, Pantry, Ruang Maintenance, Ruang Security	636 m ²
Fasilitas Publik	Jogging Track, Kolam Renang, Lapangan Basket, Fitness Center, Taman Terbuka, Ruang Bersama Apartemen, Roof Garden, Indoor Garden	5,442,6 m ²
Hunian	Unit Family 1 BR, Unit Family 2 BR, Unit Family 3 BR, Penthouse	25.178,4 m ²
Servis	Platform Panel Surya, Ruang Baterai, Ruang Saklar, Ruang Trafo, Ruang Panel, Ruang Pompa, Roof Tank, Shaft Bangunan, Ruang Janitor, Ruang Laundry, Ruang Mesin Lift, Toilet, Lift, Tangga Konvensional, Tangga Darurat, Parkir Roda 2, Parkir Roda 4	15.256 m ²
Total Luasan		46.724,2 m ²

Tabel 4.2.

Tabel Penerapan Prinsip Arsitektur Biofilik pada setiap Zona (Pribadi, 2023)

Zona	Penerapan Prinsip Biofilik
<p>Penerimaan</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Visual Connection with Nature</i> : Penggunaan material alam sebagai elemen partisi, maupun elemen furnitur. ● <i>Non-visual connection with Nature</i> : dalam bentuk pengadaan kisi-kisi yang membuat aroma alam dan suara-suara alam dapat masuk ke dalam bangunan. ● <i>Thermal & Airflow Variability</i> : bukaan-bukaan dan partisi yang menggunakan celah-celah membuat pergerakan udara di dalam bangunan menjadi dinamis.
<p>Pengelolaan</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Visual Connection with Nature</i> : Penggunaan material alam sebagai elemen partisi, maupun elemen furnitur. ● <i>Thermal & Airflow Variability</i> : bukaan-bukaan dan partisi yang menggunakan celah-celah membuat pergerakan udara di dalam bangunan menjadi dinamis. ● <i>Dynamic & Diffuse Light</i> : Bukaan kaca thermal yang menciptakan pencahayaan dinamis yang berasal dari sinar matahari.
<p>Fasilitas Publik</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Visual Connection with Nature</i> : dalam bentuk <i>indoor garden</i>, dan penggunaan material alam asli seperti kayu dan batu. ● <i>Non-visual connection with Nature</i> : dalam bentuk pengadaan kisi-kisi yang membuat aroma alam dan suara-suara alam dapat masuk ke dalam bangunan. ● <i>Non-rhythmic sensory stimuli</i> : Fenomena alam yang dapat dirasakan di ruang publik, seperti bunyi serangga, daun berguguran, dan suara angin. ● <i>Thermal & Airflow Variability</i> : bukaan-bukaan dan partisi yang menggunakan celah-celah membuat pergerakan udara di dalam bangunan menjadi dinamis. ● <i>Presence of Water</i> : Adanya badan air di tengah site dan pembuatan kolam-kolam dengan stimulasi suara air. ● <i>Dynamic & Diffuse Light</i> : Bukaan kaca thermal yang menciptakan pencahayaan dinamis yang berasal dari sinar matahari. ● <i>Connection with Natural Systems</i> : Fenomena yang terjadi karena alam, seperti hujan turun, proses berbunganya suatu tanaman, dan angin yang bervariasi. ● <i>Biomorphic forms & Patterns</i> : Pola yang beraturan pada plafon ruangan, membentuk sebuah keteraturan. ● <i>Mystery</i> : Desain pedestrian walk yang mengarah ke tengah pepohonan, sehingga menimbulkan persepsi misteri. ● <i>Risk/Peril</i> :
<p>Hunian</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Visual Connection with Nature</i> : berbentuk tanaman di dalam ruangan, baik rambat ataupun pot. Penggunaan material alam berupa parquet dan beberapa panel kayu. ● <i>Non-visual connection with Nature</i> : dalam bentuk pengadaan kisi-kisi yang membuat aroma alam dan suara-suara alam dapat masuk ke dalam bangunan.

Zona	Penerapan Prinsip Biofilik
	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Thermal & Airflow Variability</i> : bukaan-bukaan dan partisi yang menggunakan celah-celah membuat pergerakan udara di dalam bangunan menjadi dinamis. ● <i>Dynamic & Diffuse Light</i> : Bukaan kaca thermal yang menciptakan pencahayaan dinamis yang berasal dari sinar matahari. ● <i>Biomorphic forms & Patterns</i> : Pola yang beraturan pada plafon ruangan, membentuk sebuah keteraturan.
Servis	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Visual Connection with Nature</i> : berbentuk roof garden yang berdampingan dengan panel surya.



(A) *Non-rhythmic Sensory Stimuli + Connection with Natural Systems.* (D) *Dynamic and Diffuse Light.* (E) *Thermal and Airflow Variability.* (F) *Presence of Water.* (G) *Biomorphic Forms and Patterns.* (H). *Mystery + Risk and Peril.*

5. Penerapan *Zero-Energy Building* dan Arsitektur Biofilik pada Konsep Tampilan dan Struktur

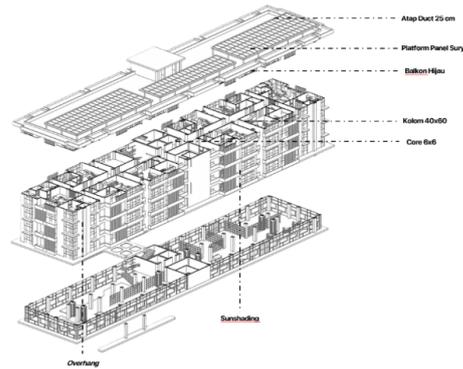
Fokus utama dari Konsep Tampilan bangunan ini adalah untuk mengurangi penggunaan energi dengan membuat beragam modifikasi pada material, warna, bentuk, serta temperatur dan pencahayaan yang terjadi di dalam ruangan. Strategi Desain Pasif

diintegrasikan dengan prinsip-prinsip Arsitektur Biofilik untuk menciptakan tampilan yang minimal, modern, dengan fokus pada unsur-unsur alam yang ditempatkan pada fasad, kendati tetap berfungsi sebagai bangunan yang hemat energi.

Adapun penerapan kedua unsur tersebut di dalam bangunan secara spesifik dapat diamati pada Tabel berikut, begitu juga dengan gambar sketsa yang disajikan.

Tabel 5.1
Metode Penerapan Zero-Energy dan Arsitektur Biofilik dalam Tampilan

Variabel	Metode Penerapan dalam Desain
Material	<ul style="list-style-type: none"> ● Material bangunan menggunakan beton struktur dan batu bata yang ditutup dengan plester bertekstur. ● Material fasad juga menggunakan beberapa model susunan batu alam untuk menguatkan prinsip <i>Visual Connection with Nature</i>. ● Penggunaan Material diatas beralasan untuk menjaga fasad bangunan agar tetap terlihat minimalis, modern, namun tetap kokoh.
Warna	<ul style="list-style-type: none"> ● Warna dominan pada setiap unit bangunan adalah putih. Hal ini didasarkan pada koefisien pantulan panas warna putih yang sangat tinggi, sehingga mampu mengurangi efek transmisi panas ke dalam bangunan jika dibandingkan dengan warna bangunan. ● Ada beberapa sisi yang diberikan warna lebih gelap, untuk menciptakan kontras dan mengurangi persepsi massif pada bangunan.
Bentuk	<ul style="list-style-type: none"> ● Bentuk bangunan adalah berbentuk balok solid yang diberikan adisi berupa unit hunian dan balkon. ● Bentuk balok dipilih dengan pertimbangan efisiensi ruang dan kemudahan sirkulasi. Selain itu, bentuk balok juga mempermudah pertukaran sirkulasi udara yang masuk ke dalam area koridor dan unit hunian.
Temperatur dan Pencahayaan	<ul style="list-style-type: none"> ● Fasad bangunan akan memiliki berbagai macam bukaan yang cukup besar, baik bukaan hidup maupun mati sebagai sumber pencahayaan utama di saat sinar matahari terang. Penggunaan bahan pada fasad, terutama bukaan, sudah dipertimbangkan agar tidak memberikan panas berlebih ke dalam bangunan. ● Selain bukaan, fasad juga akan dihiasi dengan <i>secondary skin</i> berupa kisi agar cahaya yang masuk tidak terlalu berlebih. Pencahayaan alami memungkinkan unit hunian untuk tidak menggunakan pencahayaan buatan sama sekali di waktu siang.



Gambar 5.1

Aksonometri bangunan dan penerapan elemen-elemen struktur dan tampilan. (Pribadi, 2023)

Konsep Struktur pada bangunan mempertimbangkan pada fungsi bangunan sebagai Zero-Energy Building dan apartemen yang mengadopsi prinsip Arsitektur Biofilik.

Sub-structure dari bangunan menggunakan pondasi tiang pancang dengan mempertimbangkan ketinggian bangunan, serta beban fungsi bangunan sebagai apartemen. Pondasi ini ditempatkan di titik-titik kolom bangunan yang menyambung ke *Super-Structure* bangunan yang berupa kolom dengan dimensi 40x60 cm, dengan modul kolom 6x6 meter. Antar kolom juga diberikan sambungan berupa balok dengan ukuran 40x20 cm dan balok anak berukuran 20x15 cm.

Upper-Structure pada setiap hunian dibuat dengan model atap duct. Alasan utama dari penggunaan atap duct tersebut adalah dikarenakan bagian rooftop dari bangunan dimanfaatkan sebagai tempat penghasil panel surya, sehingga ditempatkan kolom-kolom di bagian atas bangunan untuk menempatkan platform panel surya, yang berfungsi sebagai penghasil energi utama pada bangunan.

6. Penerapan *Zero-Energy Building* pada Konsep Utilitas

Sistem Utilitas utama yang menjadi titik berat dari teori *Zero-Energy Building* adalah skema distribusi energi listriknya. Sistem listrik yang ada pada bangunan ini dibagi menjadi dua, yaitu Sistem Listrik Terbarukan dan Sistem Listrik Tidak Terbarukan.

Sistem Listrik Terbarukan akan menjadi prioritas utama penggunaan energi listrik, dan ketika energi listrik terbarukan tidak dapat memenuhi kebutuhan energi dari *Zero-Energy Vertical Housing* dikarenakan beberapa alasan, seperti cuaca hujan berkepanjangan atau ada kesalahan sistem, maka Sistem Distribusi Listrik Tidak Terbarukan akan langsung mengambil alih distribusi listrik sehingga pengguna bangunan tidak akan kekurangan energi listrik. Alur detail dari distribusi listrik dapat diamati pada **Bagan 6.1**.



Menurut analisis yang dilakukan seluruh site akan menggunakan kurang lebih 5.143,32 kWh listrik per harinya. Dengan jumlah panel surya sebesar 2.457 panel, maka listrik yang dihasilkan secara kotor per harinya kurang lebih sekitar 9.828 kWh, dengan catatan matahari bersinar 100% per hari dan koefisien hasil dari panel surya sekitar 4 kWh per hari per m² (*globalsolaratlas.com*). Artinya, site sudah memenuhi kriteria dari teori *Zero Net Energy Emission*, Melalui perhitungan di atas, bisa disimpulkan bahwa kebutuhan energi site bisa

terpenuhi hanya dengan panel surya. Akan tetapi, perlu dipertimbangkan kemungkinan cuaca yang tidak stabil dan adanya malfungsi dari panel surya, sehingga energi konvensional masih diperlukan sebagai kebutuhan energi cadangan di dalam site.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik Kota Bogor. (2019). *Kota Bogor dalam Angka 2019*. Kota Bogor; Badan Pusat Statistik Kota Bogor.
- Center for Climate and Energy Solutions. (2015). Global Carbon Dioxide Emissions, 1850-2040. Retrieved from <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. (2018). *Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2018*; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Cairns Regional Council. (2012). *Sustainable Tropical Building Design, 2012*. Retrieved from www.cairns.qld.gov.au
- Climate Transparency. (2019). *Indonesia Country Profile, 2019*. Laporan dari *Brown to Green: The G20 Transition Towards a Net-Zero Emissions Economy*.
- Wardhani, A. R., Musyawaroh, M., & Daryanto, T. J. (2023). *Penerapan Arsitektur Biofilik Pada Perancangan Asrama Mahasiswa di Kota Surakarta. September, 951-962.*
- Afriyani, A., Farkhan, A., & Ikhsan, F. A., (2023). *Balai Rehabilitasi Vokasional Penyandang Disabilitas Mental di Kabupaten Bantul Dengan Pendekatan Arsitektur Biofilik. Januari, 57-68.*
- Kellert, S. R., Calabrese, E. F. (2015). *The Practice of Biophilic Design*. Retrieved from biophilicdesign.com.
- Kellert, S. R., Heerwagen, J. H., & Mador, M. L. (2015). *Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life*. Retrieved from researchgate.net.
- P. Torcellini, S. Pless, M. Deru. (2006). *Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition.. National Renewable Energy Laboratory*.
- W. Browning, C. Ryan, J. Clancy. (2014) *14 Patterns of Biophilic Design : Improving Health & Well-Being in the Built Environment*
- Vox. (2020). *How America can leave fossil fuels behind, in one chart*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=QfAXbGlnwno>