

DESAIN DENGAN KONSEP ZERO ENERGY BUILDING PADA PROYEK Q-BIG BSD

Ervan Tri Wahyudi^{1,3}, Nazrul Effendy^{1,2}, Riza Subrata³

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²Intelligent and Embedded System Research Group, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

³Departemen Teknikal Planning Mekanikal dan Elektrikal, Sinarmas Land, Jakarta, Indonesia

Corresponding author: nazrul@ugm.ac.id

Intisari—QBig mengusung konsep retail complex yang berdiri di atas lahan 17,5 hektar. Bangunan tersebut terdiri dari lima bangunan utama yang seluruhnya terintegrasi dengan giant canopy merah yang didesain ikonik. QBig dirancang dengan konsep Power Center Retail pertama di Indonesia yang terdiri dari beberapa anchor tenant yang menempati satu bangunan raksasa serta menghadap alun-alun ruang terbuka dan jalan utama. Selain memberikan inovasi gaya berbelanja yang berbeda dan menyuguhkan berbagai area publik rekreatif yang berfungsi sebagai pusat berkumpul untuk mengakomodasi berbagai komunitas, QBig juga merupakan salah satu inovasi bangunan berkelanjutan yang dikembangkan oleh Sinar Mas Land. QBig dirancang untuk meminimalkan penggunaan energi dan menggunakan energi bersih atau energi terbarukan agar dapat mengurangi dampak lingkungan.

Kata Kunci—Green building, Net zero Energy, Efisiensi Energi, Energi Terbarukan

I. PENDAHULUAN

Mengusung konsep retail complex, QBig membawa terobosan baru dalam mengedepankan konsep ‘Zero Energy Building Oriented’. Konsep tersebut dibawa dengan tiga langkah besar, yaitu membangun lingkungan yang mendukung iklim mikro dengan membangun kompleks ritel yang didominasi oleh ruang terbuka hijau dan konsep pasif lainnya untuk menurunkan suhu lingkungan, mengurangi penggunaan energi dengan konsep desain pasif dan desain aktif, serta menggunakan energi terbarukan untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Permasalahan pada perencanaan sistem mekanikal dan elektrikal bangunan Q-Big dengan konsep “Zero Energy Building Oriented” adalah perencanaan yang sesuai dengan kaidah dan peraturan yang berlaku seperti Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011, Standar Nasional Indonesia (SNI), Green Building Council Indonesia, dan peraturan internasional seperti IEC.

Perencanaan sistem kelistrikan akan menghasilkan output berupa gambar untuk sistem, denah instalasi, detail instalasi serta diagram. Tujuan perencanaan sistem Mekanikal dan Elektrikal untuk mencapai Net Zero Energy Building gedung Q-BIG adalah untuk berpartisipasi pada upaya gerakan hijau dunia untuk mengurangi dampak pemanasan global, berpartisipasi dalam inisiatif penghematan energi dan program pengurangan emisi CO₂, mengimplementasikan fasilitas lingkungan yang bersih, hijau, dan sehat untuk mendukung produktivitas para pekerja, secara sadar menjalankan program pelestarian lingkungan dengan menghemat air, memasang sistem drainase yang layak, memilih material bangunan yang berlabel hijau, menjamin kualitas udara dalam ruangan, dan memiliki sistem manajemen bangunan yang cermat.

II. KAJIAN PUSTAKA

Perkembangan pembangunan Indonesia diiringi dengan kemajuan teknologi yang semakin tinggi, menyebabkan bangunan menjadi bagian dari beban lingkungan hidup yang besar. Hal ini dibuktikan oleh data yang menyatakan bahwa Sektor bangunan menyerap sebesar 40% sumber energi dunia, bahkan di Indonesia, sektor ini bertanggung jawab terhadap 50% dari total pengeluaran energi, dan lebih dari 70% konsumsi listrik secara keseluruhan [1]–[3]. Dampak konsumsi energi bangunan yang besar terhadap alam, tentunya menyebabkan kondisi sumber daya alam khususnya sumber-sumber tak terbarukan menjadi semakin langka dan akan sulit diakses dalam beberapa tahun mendatang. Menanggapi hal tersebut, maka diperlukan pendekatan secara ramah (Eco-Friendly) bagi setiap perancangan bangunan melalui konsep zero energy building.

Zero Energy Building (ZEB) secara harfiah diartikan sebagai bangunan tanpa energi [4]–[7]. Bangunan yang digunakan sebagai hunian atau komersial yang mampu mereduksi kebutuhan energi secara efisien, yaitu mencapai keseimbangan kebutuhan energi yang dihasilkan oleh energi terbarukan [8]–[10]. Prinsip kerja dari Zero Energy Building pada dasarnya adalah meminimalkan beban bangunan, memaksimalkan efisiensi energi, memanfaatkan produksi energi yang dapat diperbaharui pada site, dan meminimalkan



konsumsi energi bangunan, dengan tujuan bangunan mampu memenuhi kebutuhannya sendiri bahkan lebih jika dimungkinkan. Strategi desain pasif dan aktif untuk terciptanya zero energy building dijelaskan sebagai berikut:

1. Strategi desain pasif

Melalui pemanfaatan energi matahari secara pasif, tanpa mengonversikan energi matahari menjadi listrik.

- Meminimalkan panas transmitans
Dengan cara mengurangi jumlah panas yang memasuki bangunan pada musim panas dan membantu mengurangi beban pada system pendingin udara. Menerapkan shading oleh pv dan fasade berventilasi, Efisiensi energi pada fasade, atap hijau, dan penghalang cahaya.
- Pencahayaannya siang hari
Daylight / cahaya matahari pada siang hari untuk mengurangi pencahayaannya buatan.
- Ventilasi alami
Membantu ZEB dalam mengurangi beban AC dengan cara pada atap bangunan, panel-panel matahari dipasang berdampingan dengan beberapa menara cahaya matahari (solar chimneys) yang berfungsi memasukkan udara dari luar kedalam melalui shaft vertikal. Ketika beroperasi pemanas dan pendingin ruangan akan mati, sehingga menghemat energi namun tetap menyediakan sirkulasi udara yang baik. Dalam ventilasi alami, kaca berperan penting untuk pengendalian pemindahan panas [11]–[13].

2. Strategi desain aktif

Energi matahari dikonversi menjadi energi listrik sel solar untuk memenuhi kebutuhan bangunan.

- Sensor
Untuk mengendalikan jumlah pencahayaannya buatan yang digunakan. Lampu diaktifkan hanya ketika seseorang memasuki ruangan. Intensitas cahaya, angka suhu, ventilasi, pemantau kadar CO₂, aturan tidak merokok diatur dan disesuaikan dengan keadaan.
- Sistem HVAC
(Heating, Ventilation, dan air-conditioning) merupakan pengontrol iklim dalam bangunan.
- Green roof dan green wall
Digunakan untuk melindungi bangunan dari sinar matahari, serta membuat sejuk dan mengurangi kebutuhan energi.
- Pencahayaannya efisien
Penggunaan lampu neon memotong daya sekitar 26%. Shading devices (perangkat peneduh) menggunakan sistem penghijauan untuk memotong transmisi panas untuk memenuhi tujuan dari zero energy building adalah merancang desain yang memiliki satu pendekatan desain terpadu yang berfokus pada dua prinsip umum untuk mengurangi konsumsi energi.

III. PERANCANGAN DESAIN NET ZERO ENERGY BUILDING

A. Upaya Mempengaruhi Iklim Mikro

Dibangun dengan mengacu pada konsep hijau dan berkelanjutan, kelima blok bangunan tersebut didesain berdiri mengelilingi taman yang sangat luas sebagai ruang terbuka bagi publik. Sekitar 80% area QBig adalah Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang berfungsi sebagai paru-paru kota atau wilayah sekaligus sebagai area publik untuk berkumpul dan beraktivitas (Gambar 1).



Gambar 1. Konsep interconnected gedung dan RTH pada pusat kompleks QBig

Hutan Mini

QBig memberikan nuansa hijau dengan menghadirkan hutan kecil di pusat perbelanjaan (Gambar 2). Area yang dipenuhi pepohonan rindang dan rerumputan hijau dapat menciptakan suasana tenang dan menyejukkan. Tanaman hijau yang berada di sekitar kompleks juga dapat membantu menyerap polusi udara, menurunkan suhu sekitar bangunan, sebagai area resapan air, serta meredam kebisingan dari lingkungan sekitar.



Gambar 2. Hutan mini di lingkungan QBig

Ruang Publik Rekreatif

Tidak hanya menyediakan area perbelanjaan seperti ritel pada umumnya, QBig memberikan inovasi gaya berbelanja yang berbeda dan tempat terbaik untuk menciptakan pengalaman baru bagi pengunjung. QBig menyuguhkan berbagai area publik rekreatif yang berfungsi sebagai pusat berkumpul yang menarik untuk mengakomodasi berbagai komunitas dalam mengekspresikan kreativitas. Area tersebut disediakan di area terbuka dengan pepohonan sebagai peneduh sehingga pengunjung dapat beraktivitas di alam terbuka dengan nyaman.

Water Body

Tidak hanya menyediakan ruang terbuka hijau, Qbig menyediakan bentangan kolam yang luas yang terdiri dari Kolam Koi dan Kolam Air Terjun. Kolam ikan menyuguhkan suasana tenang dan menciptakan pemandangan yang menarik bagi pengunjung. Di tengah hijaunya taman, juga terdapat kolam air yang mengalir turun ke dinding batu memanjakan mata dengan pemandangan yang indah. Tidak hanya menarik bagi pemandangan, kolam-kolam ini juga berfungsi untuk menurunkan suhu udara sekitar kompleks dan mengurangi efek urban heat island.

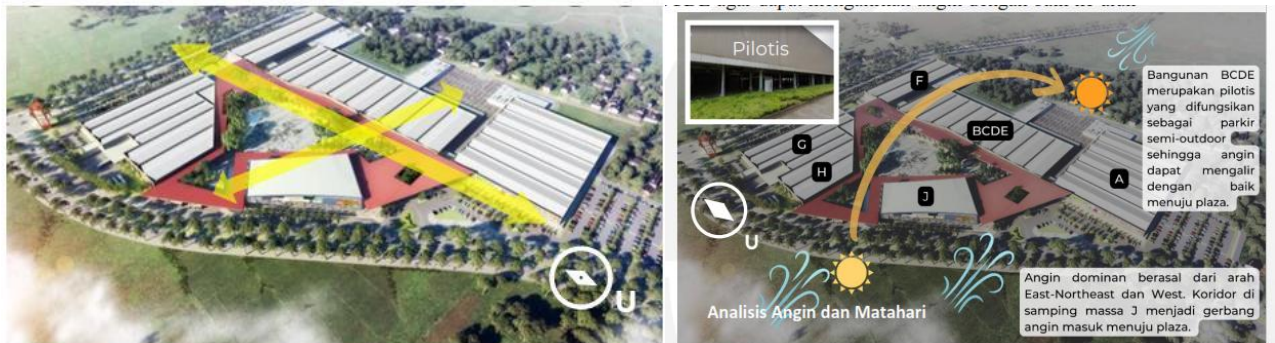
B. Upaya Efisiensi Energi

- Desain Pasif

Orientasi Bangunan

Orientasi bangunan QBig untuk area sirkulasi lobi utama menghadap Timur-Barat dimana didesain agar area tersebut menggunakan ventilasi alami (Gambar 3). Sedangkan untuk area pertokoan memiliki orientasi UtaraSelatan yang terbagi menjadi dua sayap utama, sayap utara dan sayap selatan, dirancang untuk meminimalkan dampak langsung radiasi dari matahari dan menggunakan material pada fasad bangunan yang dirancang untuk mencegah radiasi panas dan nilai perpindahan panas yang rendah. Angin pada tapak dominan berasal dari timur dan barat direspons dengan adanya ruang

antar massa H-J dan J-A yang lebar, serta pilotis pada bangunan BCDE agar dapat mengalirkan angin dengan baik ke alun alun maupun selasar bangunan. QBig didesain sebagai bangunan rendah dengan sebagian besar blok bangunan setinggi satu lantai. Desain bangunan rendah dipilih untuk mengurangi paparan sinar matahari dari selubung bangunan. QBig mengadopsi topologi struktur baja sehingga memiliki bentang yang lebar dan minim kolom, mirip dengan gudang, pabrik, dan hanggar.



Gambar 3. Orientasi bangunan, analisis angin dan matahari.

Selubung bangunan Qbig didominasi wall cladding berbahan campuran baja dan aluminium, berwarna abu muda dan memiliki solar reflectance sebesar 0,56. Untuk memitigasi perolehan panas dari radiasi matahari, bangunan dilengkapi dengan kaca low-e, horizontal shading, dan wall cladding berupa lembaran metal bergelombang. Lapisan wall cladding metal pada selubung bangunan bukan hanya berfungsi menambah estetika bangunan, melainkan juga untuk mereduksi transmisi panas matahari ke dalam bangunan. Total nilai WWR dari selubung bangunan QBig adalah 16,92%.

Material

Selubung bangunan QBig terdiri dari kombinasi dari lembaran bergelombang, panel komposit, dan kaca. Material dipilih dengan performa yang baik, seperti menggunakan kaca low-e dengan nilai U-Value 4 W/m. untuk meningkatkan insulasi selubung bangunan dan memperoleh Shading Coefficient rendah agar dapat mengurangi radiasi matahari lalu mengurangi beban pendinginan sebagai upaya penghematan energi. Material atap dan dinding luar yang digunakan memiliki tingkat penyerapan panas yang rendah sehingga dapat mereduksi suhu di dalam bangunan. Fasad yang menggunakan cladding juga turut membantu agar suhu bangunan tetap stabil. Baik material atap maupun dinding luar juga sudah tersertifikasi oleh Green Product oleh Green Product Council Indonesia.

Peneduh

Kanopi pada QBig merupakan identitas yang tidak terpisahkan. Selain sebagai identitas, kanopi yang ada Qbig juga memiliki fungsi sebagai horizontal shading. Elemen horizontal shading tersebut dapat mengurangi paparan sinar matahari secara langsung ke dalam bangunan dan mengurangi konsumsi energi bangunan secara signifikan. Peneduh lainnya yang terdapat pada QBig adalah tajuk pepohonan yang terdapat di ruang terbuka terutama di area parkir dan sekitar sitting area.

Perpindahan Panas Keseluruhan Melalui Selubung Bangunan

Selubung bangunan QBig memiliki nilai Overall Thermal Transfer Value yang rendah yaitu 18,25 Watt/m atau lebih rendah 48% dari standar SNI 35 W/m.

Ventilasi Alami

QBig memiliki common area dengan konsep semi-terbuka. Sisi bangunan yang menghadap taman di pusat kompleks didesain tanpa dinding sehingga udara segar dari luar bangunan dapat bersirkulasi secara bebas. Taman dan pepohonan di sekitar bangunan dapat membuat udara sekitar bangunan lebih sejuk sehingga common area tersebut tidak perlu dilengkapi

dengan pendingin udara. Hal tersebut dapat mengurangi total beban pendingin bangunan yang berpengaruh terhadap pengurangan energi, dimana sistem pendingin udara merupakan kontributor paling besar dalam mengonsumsi energi.

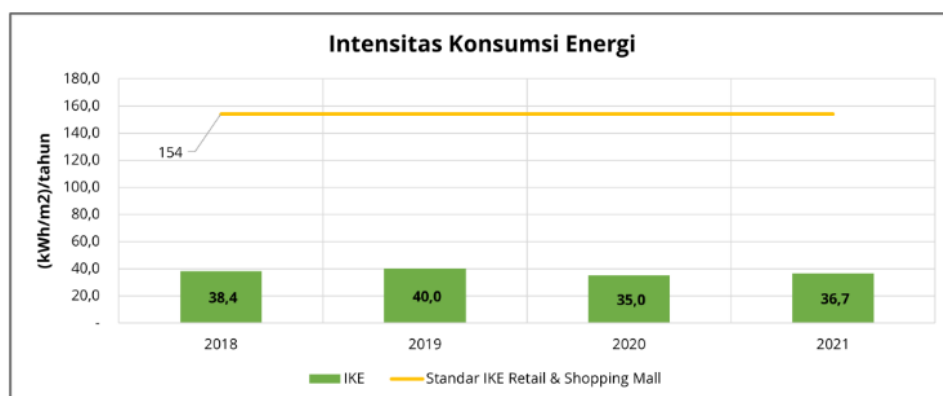
Pencahayaan Alami

Selain memanfaatkan ventilasi alami, common area semi-terbuka serta sebagian besar blok bangunan setinggi satu lantai dengan mengadopsi topologi struktur bebas kolom, mendukung konsep pencahayaan alami. Cahaya alami dapat mencapai kedalaman sekitar 20-30 m tanpa penghalang sehingga tidak perlu menggunakan lampu pada siang hari dengan penyinaran matahari maksimal untuk menghemat penggunaan energi. Pada observasi, didapatkan angka 1475 lux pada area dekat railing selasar lantai 2. Pada kondisi pencahayaan matahari maksimum, Selain itu, terdapat skylight pada giant canopy yang memberikan pencahayaan tambahan pada area di bawahnya maupun selasar bangunan.

- Desain Aktif

Intensitas Konsumsi Energi

Konsumsi rata-rata energi QBig secara keseluruhan adalah 10.705.356,58 kWh/tahun (Sebelum dinormalisasi). Intensitas Konsumsi Energi (IKE) per tahun mulai dari tahun 2018 sampai 2022 (sampai bulan Juli) berdasarkan luas area yang dikondisikan dengan pendingin udara sebesar 65.015,09 m² dan normalisasi jam penggunaan 2000 jam per tahun diperlihatkan pada Gambar 4. Nilai IKE terakhir yang dicatat oleh QBig pada tahun 2021 adalah 36,7 kWh/m²/tahun. Nilai IKE tersebut tergolong hemat dibandingkan dengan benchmark konsumsi energi retail/shopping mall yaitu 154 kWh/m²/tahun berdasarkan ASEAN Energy Awards 2022 Guideline.



Gambar 4. Intensitas konsumsi energi

Sistem Tata Udara

QBig menggunakan Centralized Cooling System untuk mengondisikan penghawaan seluruh gedung. Sistem ini didesain untuk meningkatkan efisiensi operasional dibandingkan dengan sistem individual per gedung. Centralized Cooling System yang digunakan berupa Watercooled Centrifugal Chiller berkapasitas 3 x 750 TR.

Sistem Monitoring

Selain komitmen yang mendukung upaya konservasi energi, QBig juga dilengkapi dengan sistem yang mempermudah operasional serta pemantauan energi bangunan berupa Building Automation System (BAS) [14]–[16]. Segala aspek yang terekam oleh sistem BAS akan digunakan sebagai bahan evaluasi kinerja peralatan maupun kinerja bangunan, terutama data konsumsi energi bangunan.

Transportasi Vertikal

Sistem transportasi vertikal utama pengunjung yang digunakan pada bangunan adalah escalator karena QBig hanya memiliki 2 lantai pada massa BCDE dan 1 lantai di massa bangunan lainnya. Penggunaan eskalator ini juga sudah hemat

energi karena menggunakan fitur sleep, yaitu pergerakan eskalator akan melambat apabila tidak ada pengunjung yang menggunakan sistem transportasi vertikal lainnya adalah tangga kebakaran.

C. Penggunaan Energi Terbarukan

Panel Surya

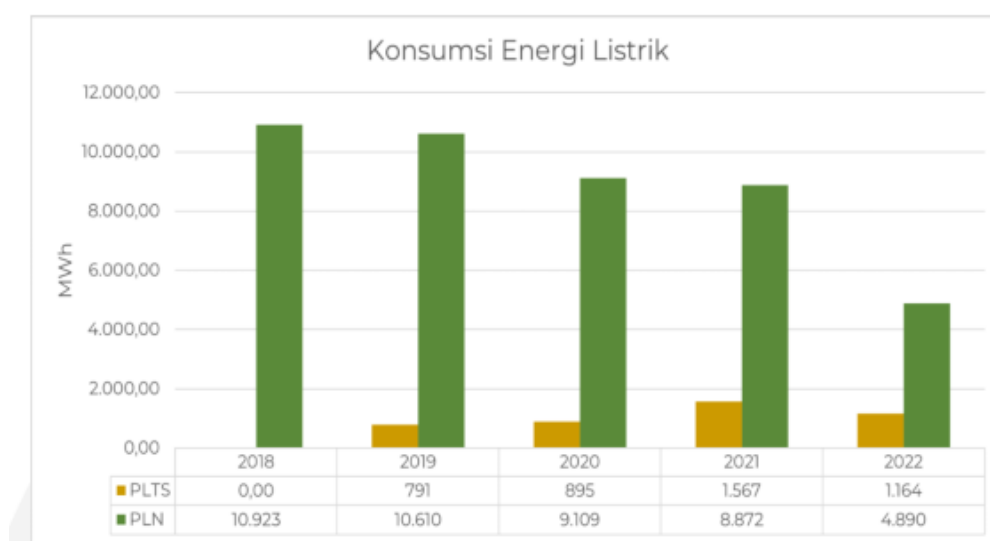
Sebagai bagian dari upaya mengurangi dampak lingkungan, QBig memulai praktik berkelanjutan dengan beralih menggunakan energi terbarukan berupa panel surya pada atap bangunan secara bertahap. Pada Januari 2019, QBig menggunakan panel surya dengan kapasitas 780,8 kWp dan kemudian dikembangkan pada Juli 2021 dengan tambahan kapasitas 1,138 kWp, sehingga total kapasitas panel surya saat ini mencapai 1,9 MWp. Pada tahun 2019 - 2021, panel surya terpasang dapat memproduksi energi rata-rata sebesar 74 MWp/bulan, dan setelah penambahan kapasitas di Juli 2021, dapat memproduksi energi rata-rata 190 MWp/bulan. Hingga kini panel surya terpasang dapat memproduksi energi menggantikan 20,4% dari total kebutuhan energi listrik bangunan.

Salah satu tantangan untuk beralih ke sumber energi bersih seperti energi surya ini adalah membutuhkan dana yang cukup besar. Karena itu QBig berinovasi dengan membuka peluang kerja sama dengan penyedia jasa energi terbarukan untuk memungkinkan dalam memiliki sistem tenaga surya tanpa investasi. QBig menjalankan kerja sama berupa Performance Based Renting, dimana unit panel surya diinstalasi pada bangunan tanpa biaya di muka dan membayar energi yang digunakan oleh bangunan berdasarkan besar energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan tarif yang lebih rendah dan sharing profit dari penghematan yang dihasilkan. Dengan menjalankan hal tersebut, QBig dapat menghemat biaya listrik tanpa harus berinvestasi besar, serta berkontribusi dalam pengurangan emisi karbon ke lingkungan.

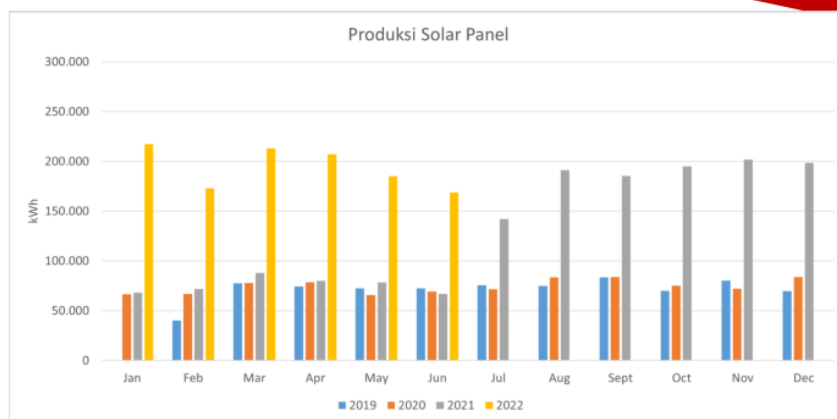
D. Konsumsi Energi bangunan

Konsumsi Energi

Konsumsi energi bangunan merupakan salah satu aspek terpenting yang dapat memperlihatkan bahwa suatu bangunan sudah efisien atau belum penggunaan energinya. QBig mulai dibuka sejak tahun 2018, pada saat itu sumber energi yang digunakan masih berasal dari PLN sepenuhnya. Konsumsi energi listrik bangunan rata-rata per tahun sampai tahun 2021 sebesar 10.705,36 MWh. Penggunaan energi terbarukan di QBig berasal dari panel surya dimulai sejak tahun 2019 (Gambar 5). Pada tahun 2021, kapasitas panel surya di QBig ditambah hingga hampir 3 kali lipat. Rata-rata produksi energi dari panel surya sejak tahun 2019 mencapai 107.741,66 kWh/bulan (Gambar 6). Produksi energi dari panel surya terus meningkat setiap tahunnya seiring dengan penambahan kapasitas panel surya. Pada tahun 2021, persentase replacement atau penggantian energi listrik dari PLN ke energi listrik dari panel surya mencapai 20,4% pada periode setelah pemasangan panel surya tahap kedua.



Gambar 5. Perbandingan konsumsi energi listrik PLN dan PLTS



Gambar 6. Daya yang dihasilkan oleh PLTS

IV. KESIMPULAN

QBig merupakan salah satu inovasi bangunan berkelanjutan yang dikembangkan oleh Sinar Mas Land. QBig dirancang untuk meminimalkan penggunaan energi dan menggunakan energi bersih atau energi terbarukan agar dapat mengurangi dampak lingkungan atau yang di kenal dengan konsep ZEB Oriented [20]. Perencanaan desain didapat hasil sebagai berikut :

- 80% area kompleks merupakan RTH
- 27% area semi-terbuka memanfaatkan ventilasi alami dan pencahayaan alami
- 20,4% kebutuhan listrik bangunan di penuhi oleh panel surya (1,92 MWp)
- Overall Thermal Transfer Value 18,25 W/m², lebih rendah 48% dari SNI (35W/m²)
- IKE 36,7 kWh/m²/tahun lebih hemat dari standar retail/shopping mall (154 kWh/m²/tahun)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, dan Himpunan Ahli Elektro Indonesia atas dukungannya pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Xu, Y. Zhang, L. Shi, Y. Feng, X. Ke, dan C. Zhang, "A comprehensive evaluation framework of energy and resources consumption of public buildings: Case study, People's Bank of China," *Applied Energy*, vol. 351, hlm. 121869, Des 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121869.
- [2] P. Zheng, H. Zhou, J. Liu, dan Y. Nakanishi, "Interpretable building energy consumption forecasting using spectral clustering algorithm and temporal fusion transformers architecture," *Applied Energy*, vol. 349, hlm. 121607, Nov 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121607.
- [3] F. Xu dan Q. Liu, "Building energy consumption optimization method based on convolutional neural network and BIM," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 77, hlm. 407–417, Agu 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.06.084.
- [4] H. Huo, W. Xu, A. Li, J. Wu, dan J. Guo, "A simple evaluation method of external Venetian blind shading performance for nearly zero energy buildings," *Renewable Energy*, vol. 218, hlm. 119260, Des 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.119260.
- [5] M. Shirinbakhsh dan L. D. D. Harvey, "Feasibility of achieving net-zero energy performance in high-rise buildings using solar energy," *Energy and Built Environment*, Jul 2023, doi: 10.1016/j.enbenv.2023.07.007.
- [6] K.-Y. Lo, J. H. Yeoh, dan I.-Y. L. Hsieh, "Towards Nearly Zero-Energy Buildings: Smart Energy Management of Vehicle-to-Building (V2B) Strategy and Renewable Energy Sources," *Sustainable Cities and Society*, vol. 99, hlm. 104941, Des 2023, doi: 10.1016/j.scs.2023.104941.
- [7] M. Gür, H. F. Öztö, dan F. Selimefendigil, "Analysis of solar underfloor heating system assisted with nano enhanced phase change material for nearly zero energy buildings approach," *Renewable Energy*, vol. 218, hlm. 119265, Des 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.119265.
- [8] R. Budiarto dkk., "Vocational high school as a part of Indonesian photovoltaics supply chain," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 926, no. 1, hlm. 012026, Nov 2021, doi: 10.1088/1755-1315/926/1/012026.

- [9] D. Anggraini, N. Effendy, M. I. A. Hafiz, dan D. O. Luviano, "Research and Development of a Power Monitoring System for the Sustainable Energy Management System Implementation at Green School, Bali, Indonesia," *E3S Web Conf.*, vol. 43, hlm. 01021, 2018, doi: 10.1051/e3sconf/20184301021.
- [10] H. Ali, N. Effendy, dan R. Budiarto, "Rancang bangun sistem pengukuran putaran sudu turbin dan perekam data berbasis mikrokontroler AVR ATmega16 pada turbin angin di Pantai Baru, Ngentak, Bantul," dalam *Applied Science for Technology innovation (Astechnova)*, 2012.
- [11] T. Sas-Wright dan J. D. Clark, "Numerical assessment of indoor air quality in spaces in the United States designed with the ASHRAE 62.1–2019 Natural Ventilation Procedure," *Building and Environment*, vol. 243, hlm. 110671, Sep 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110671.
- [12] X. Xie, Z. Luo, S. Grimmond, dan T. Sun, "Impact of building density on natural ventilation potential and cooling energy saving across Chinese climate zones," *Building and Environment*, vol. 244, hlm. 110621, Okt 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110621.
- [13] Y.-P. Lin, T.-L. Huang, S.-C. Chung, dan C.-M. Lai, "Effect of outdoor wind on the hybrid natural ventilation performance of monitor roofs," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 80, hlm. 584–593, Okt 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.09.014.
- [14] G. Li *dkk.*, "A critical review of cyber-physical security for building automation systems," *Annual Reviews in Control*, vol. 55, hlm. 237–254, Jan 2023, doi: 10.1016/j.arcontrol.2023.02.004.
- [15] G. Qiang, S. Tang, J. Hao, L. Di Sarno, G. Wu, dan S. Ren, "Building automation systems for energy and comfort management in green buildings: A critical review and future directions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 179, hlm. 113301, Jun 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113301.
- [16] L. Vandenbogaerde, S. Verbeke, dan A. Audenaert, "Optimizing building energy consumption in office buildings: A review of building automation and control systems and factors influencing energy savings," *Journal of Building Engineering*, vol. 76, hlm. 107233, Okt 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2023.107233.
- [17] T. Vanli dan T. Akan, "Mapping synergies and trade-offs between smart city dimensions: A network analysis," *Cities*, vol. 142, hlm. 104527, Nov 2023, doi: 10.1016/j.cities.2023.104527.
- [18] J. Clement, B. Ruyschaert, dan N. Crutzen, "Smart city strategies – A driver for the localization of the sustainable development goals?," *Ecological Economics*, vol. 213, hlm. 107941, Nov 2023, doi: 10.1016/j.ecolecon.2023.107941.
- [19] Z. Spicer, N. Goodman, dan D. A. Wolfe, "How 'smart' are smart cities? Resident attitudes towards smart city design," *Cities*, vol. 141, hlm. 104442, Okt 2023, doi: 10.1016/j.cities.2023.104442.
- [20] S. S. Utami *dkk.*, *Menuju Bangunan Zero Energy di Indonesia*. Yogyakarta: UGM Press, 2021.

