

Analisis Penerapan Efisiensi Energi (Studi Kasus: Gedung III Fakultas Teknik dan Sains UPN “Veteran” Jawa Timur)

Farah Eka Putri Ramadaniati, Yayok Suryo Purnomo*, Praditya Sigit Ardistry Sitogasa

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: yayoksp.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 18 Februari 2025

Disetujui: 4 Maret 2025

Abstract

Energy use plays an important role in human survival and activities, but the issue of conventional (non-renewable) energy crisis is often a topic of discussion. Some scientists predict that this energy will run out in the near future. The amount of energy is increasing along with the growth in the number of infrastructure and buildings to support the development of the human population. Applying the green building concept to buildings is one way to achieve energy efficiency. This research aims to analyze and optimize the application of green building concept in terms of energy efficiency in Building III, Faculty of Engineering, UPN "Veteran" East Java. The analysis was carried out on aspects of lighting, air conditioning, energy savings modeling using EDGE 3.0.0 software, as well as calculating the intensity of energy consumption. Based on the analysis, the building known that has an energy consumption intensity value of 24.92 kWh/m²/month and has made energy savings through the use of energy-saving lighting and air conditioning, with savings of 18.09% compared to similar buildings.

Keywords: *energy use intensity(eui), energy efficiency, green building*

Abstrak

Penggunaan energi memegang peran penting dalam keberlangsungan hidup dan aktivitas manusia, namun isu mengenai krisis energi konvensional (tak terbarukan) sering menjadi topik pembicaraan. Beberapa ilmuwan memprediksi bahwa energi ini akan habis dalam waktu dekat. Peningkatan jumlah energi seiring dengan pertumbuhan jumlah infrastruktur dan bangunan untuk mendukung perkembangan populasi manusia. Penerapan konsep green building pada bangunan merupakan salah satu cara untuk mencapai efisiensi energi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan penerapan konsep green building dalam hal efisiensi energi di Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur. Analisis dilakukan pada aspek pencahayaan, tata udara, pemodelan penghematan energi menggunakan software EDGE 3.0.0, serta perhitungan intensitas konsumsi energi. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa gedung memiliki nilai intensitas konsumsi energi sebesar 24,92 kWh/m²/bulan dan telah melakukan penghematan energi melalui penggunaan lampu dan pendingin udara hemat energi, dengan penghematan sebesar 18,09% dibandingkan dengan *base case*.

Kata Kunci: *intensitas konsumsi energi (ike), efisiensi energi, bangunan hijau*

1. Pendahuluan

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja atau gerakan, yang memungkinkan terjadinya suatu aktivitas [1]. Penggunaan energi memiliki peranan yang sangat penting bagi kelangsungan berbagai aktivitas manusia, namun masalah terkait krisis energi konvensional (tak terbarukan) sering menjadi pembahasan yang hangat. Banyak ilmuwan yang memperkirakan bahwa energi konvensional akan segera habis, mengingat ketersediaannya yang terbatas di bumi ini [2]. Peningkatan konsumsi energi seiring dengan pesatnya pembangunan infrastruktur dan gedung-gedung untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan populasi yang terus meningkat. Pada pertengahan tahun 2024, jumlah penduduk Indonesia diperkirakan mencapai 281,6 juta jiwa, dengan peningkatan 3 juta jiwa dalam satu tahun sejak 2023 [3]. Pertumbuhan penduduk yang pesat ini menambah tuntutan terhadap pembangunan serta kebutuhan energi yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia. Efisiensi energi merupakan langkah yang diambil untuk menghemat energi.

Konservasi energi dimaksudkan sebagai upaya terencana untuk melestarikan sumber daya energi dan meningkatkan efisiensi penggunaannya [4]. Dalam merancang suatu bangunan, perlu mempertimbangkan energi yang digunakan, yang berkaitan erat dengan efisiensi energi untuk mengurangi konsumsi energi dalam penggunaan peralatan atau sistem yang ada di bangunan, sambil tetap menjaga kenyamanan penghuninya. Manfaat lain dari efisiensi energi adalah mengurangi konsumsi energi dan biaya

yang terkait, yang dapat memberikan penghematan ekonomi bagi konsumen jika penghematan energi yang dicapai lebih besar dari biaya tambahan yang diperlukan untuk menerapkan teknologi hemat energi. Efisiensi energi dan pemanfaatan energi terbarukan juga dianggap penting dalam kebijakan energi berkelanjutan dan menjadi prioritas utama dalam sistem energi yang berkelanjutan. Penerapan konsep *green building* pada bangunan merupakan salah satu langkah untuk mencapai efisiensi energi

Penerapan konsep *green building* mengacu pada pembangunan yang menerapkan prinsip serta mengimplementasikan proses ramah lingkungan, bergitu pula dengan sistem pengoperasiannya yang difokuskan untuk mengefisienkan energi yang digunakan [5]. Bangunan Hijau atau Green Building merupakan suatu proses konstruksi yang memanfaatkan sumber daya alam sehingga memberikan dampak terhadap lingkungan sekitar. Dalam proses pembangunan suatu bangunan, mulai dari perancangan, lokasi pembangunan, proses pembangunan, hingga pemeliharaan, hingga tidak digunakan lagi dan dibongkar, tetap perlu memperhatikan lingkungan sekitar.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini metode sampling dan modeling menggunakan perangkat lunak EDGE untuk mengetahui hasil penerapan efisiensi energi yang telah dilakukan. Batasan penelitian yang dilakukan yakni analisis efisiensi energi terfokus pada sistem pencahayaan dan tata udara serta konsumsi energi bangunan berdasarkan konsep *Green Building*. Beberapa tahapan yang dilakukan untuk penelitian, yaitu studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder, pengolahan data, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gedung III Fakultas Teknik Universitas Pembangunan “Veteran” Jawa Timur yang terletak di Jalan Rungkur Madya No.1, Gunung Anyar, Kecamatan Gunung Anyar, Surabaya. Memiliki total luas bangunan 1764,60 m² dan terdiri dari 4 lantai yang memiliki fungsi sebagai sarana pembelajaran bagi mahasiswa dan perkantoran bagi tenaga pendidik dan staff. Rentang waktu pengambilan data dilakukan pada bulan Oktober 2024.



Gambar 1: Gedung III Fakultas Teknik dan Sains UPN “Veteran” Jawa Timur
Sumber : Dokumentasi Penulis (2024)

Pengamatan Daya Lampu Dan Pengukuran Tingkat Pencahayaan

Pengamatan daya dilakukan dengan memperhatikan spesifikasi sistem pencahayaan pada ruangan. Pengukuran tingkat pencahayaan dilakukan untuk mengetahui besar intensitas pencahayaan pada suatu area/tempat. Penentuan titik pengambilan data didasarkan pada SNI 7062:2019 tentang Pengukuran intensitas pencahayaan di tempat kerja. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *luxmeter* dengan cara sebagai berikut:

1. Tinggi pengukuran dengan ketinggian sensor alat 0,8 dari lantai
2. Pengukuran dilakukan saat siang hari untuk mengetahui besarnya intensitas pencahayaan dari cahaya alami dan lampu
3. Pengukuran dilakukan pada malam hari untuk mengetahui besarnya intensitas penerangan dari lampu.

Pengamatan Daya Pada Sistem Pendingin Ruangan

Pengamatan daya dilakukan dengan memperhatikan spesifikasi sistem pendingin ruangan. Pengamatan dilakukan secara kasat mata langsung pada label spesifikasi pendingin ruangan untuk mengetahui daya pendingin dan kapasitas pendinginan masing-masing pendingin ruangan.

Pengumpulan Data Konsumsi Energi Listrik Bangunan

Data konsumsi energi diperoleh dari penggunaan energi pada gedung bangunan, berupa listrik maupun bahan bakar diesel ataupun gas. Pada penelitian, diketahui bahwa fungsi gedung sebagai sarana dan prasarana belajar mengajar dan hanya menggunakan listrik sebagai sumber energi untuk fungsional gedung.

3. Hasil dan Pembahasan

Kondisi Pencahayaan

Sistem pencahayaan buatan, dalam kondisi eksisting merupakan lampu adalah konsumen energi kedua terbesar dalam bangunan. Hal ini sangat dikarenakan, pencahayaan buatan dapat menerangi suatu ruangan dengan cukup disaat kondisi ruangan sulit dicapai pencahayaan alami, yakni matahari [6]. Pengukuran Tingkat pencahayaan di dalam ruangan dan luar ruangan dilakukan menggunakan luxmeter yang menggunakan sensor elektronik dengan *holding time* pengukuran pada setiap titik pengukuran ± 10 sekon untuk mendapatkan kondisi *steady* pengukuran [7]. Penentuan titik pengukuran menyesuaikan SNI 7062:2019 tentang pengukuran intensitas pencahayaan di tempat kerja.

Pengukuran dilakukan pada 2 (dua) rentang waktu, yakni pagi-siang dan sore-malam untuk mengetahui kondisi pencahayaan disaat terdapat cahaya alami dan tidak. Berikut hasil pengamatan pengukuran pencahayaan pada masing-masing ruangan di Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pencahayaan pada Gedung

No.	Nama Ruangan	Pengukuran dan Analisis Data	
		Tingkat Pencahayaan Rata-rata (Lux)	
		Pagi - Siang	Sore - Malam
Lantai 1			
1	Ruang TU	266	-
2	Lab Ergonomi	372	142
3	Lorong	298	119
Lantai 2			
1	Ruang Dosen Lt.2	209	110
2	Ruang Kaprodi Lt.2	472	167
3	Lorong Lt.2	180	113
Lantai 3			
1	Ruang Dosen Lt.3	211	104
2	Ruang Kaprodi Lt.3	421	152
3	Lorong Lt.3	177	117
Lantai 4			
1	Ruang 401	307	200
2	Ruang 402	311	200
3	Ruang 403	293	182
4	Ruang 404	298	192
5	Ruang 405	291	197
6	Ruang 406	279	143
7	Lorong Lt.4	164	145

Sumber: Pengolahan Data (2024)

Efisiensi sumber pencahayaan

Nilai efikasi pencahayaan dihitung dengan menggunakan nilai total cahaya dari lampu atau disebut dengan lumen dibagi dengan daya lampu [8]. Nilai Efikasi cahaya menentukan terang pencahayaan, semakin besar nilai efikasi cahaya pada suatu ruangan artinya terang pencahayaan semakin tinggi, sedangkan nilai efikasi yang kecil menunjukkan bahwa terang pencahayaan semakin rendah [9]. Tingkat pencahayaan dipengaruhi oleh kondisi dan luas ruangan, serta sumber cahaya alami berupa jendela. Rekapitulasi hasil perhitungan efikasi pencahayaan pada masing-masing ruangan pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Efikasi Pencahayaan Gedung

No.	Nama Ruangan	Efikasi Pencahayaan (lm/Watt)
Lantai 1		
1	Ruang TU	124,14
2	Lab Ergonomi	100,00
3	Lorong	100,00
Lantai 2		
1	Ruang Dosen Lt.2	124,14 dan 100
2	Ruang Kaprodi Lt.2	100,00
3	Lorong Lt.2	100,00
Lantai 3		
1	Ruang Dosen Lt.3	124,14 dan 100
2	Ruang Kaprodi Lt.3	100,00
3	Lorong Lt.3	100,00
Lantai 4		
1	Ruang 401	57,50
2	Ruang 402	57,50
3	Ruang 403	57,50
4	Ruang 404	57,50
5	Ruang 405	57,50
6	Ruang 406	57,50
7	Lorong Lt.4	100,00

Sumber: Pengolahan Data (2024)

Nilai COP (Coefficient of Performance) Pendingin Ruangan

Dengan merencanakan pemasangan sistem pendingin yang efisien ke dalam bangunan secara hati-hati, listrik yang dibutuhkan untuk memberikan pendinginan yang dibutuhkan dapat dikurangi dalam jangka panjang dan meningkatkan efisiensi penggunaan listriknya. Nilai COP (*Coefficient of Performance*) atau koefisien Kinerja dilakukan dengan menghitung kalor yang diserap dengan daya kerja yang dilakukan oleh sistem pendingin udara. Nilai koefisien kinerja (COP) juga dapat diartikan pada aplikasi dilapangan dengan istilah EER (Energi Efisiensi Rasio) [10]. Rekapitulasi hasil perhitungan COP AC pada masing-masing ruangan pada **Tabel 3**:

Tabel 3. Hasil Perhitungan COP AC pada Gedung

No	Ruangan	COP/ Koefisien Kinerja
Lantai 1		
1	Ruang TU	3,18
2	Lab Ergonomi	2,71
3	Lorong	-
Lantai 2		
1	Ruang Dosen Lt.2	2,71
2	Ruang Kaprodi Lt.2	2,71
3	Lorong Lt.2	-
Lantai 3		
1	Ruang Dosen Lt.3	2,71
2	Ruang Kaprodi Lt.3	2,71
3	Lorong Lt.3	-
Lantai 4		
1	Ruang 401	3,01
2	Ruang 402	3,01
3	Ruang 403	3,01
4	Ruang 404	3,01
5	Ruang 405	3,01
6	Ruang 406	3,01
7	Lorong Lt.4	-

Sumber: Pengolahan Data (2024)

Analisis Penghematan Energi

Analisis Penghematan Energi dilakukan dengan melakukan permodelan menggunakan perangkat lunak EDGE untuk mengetahui nilai penghematan yang telah dilakukan oleh gedung dibandingkan dengan gedung sejenis berdasarkan standar *Green Building Council Indonesia*. Program EDGE merupakan sistem sertifikasi bangunan gedung hijau yang dikembangkan oleh IFC (*International Finance Corporation*) [11]. Penghematan energi merupakan salah satu dari 3 (tiga) kategori sumber daya yang dapat diefisiensikan dalam standar EDGE. Berikut merupakan tindakan penghematan yang telah dilakukan oleh Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur berdasarkan pengambilan dan pengolahan data diatas.

Berdasarkan tindakan yang telah dilakukan oleh Gedung III Fakultas Teknik, data yang ada diolah kedalam software EDGE dengan terfokus pada pengukuran efisiensi energi dan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 2. Hasil Modeling Penghematan Energi menggunakan EDGE
 Sumber: Pengolahan Data (2024)

Dari hasil analisa Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur didapatkan hasil akhir penghematan listrik sebesar 18,09%. Nilai yang sangat berpengaruh dalam penghematan yaitu pada pendingin ruangan dan pencahayaan. Pada permodelan, diestimasikan bahwa pencahayaan mengkonsumsi 11,4 kWh/m²/tahun yang mana lebih efisien dibandingkan dengan gedung sejenis pada angka konsumsi 17,67 kWh/m²/ tahun.

Intensitas Konsumsi Energi

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik adalah hasil bagi konsumsi listrik gedung bangunan pada rentang waktu tertentu dengan keseluruhan luas suatu bangunan. Perhitungan nilai intensitas konsumsi energi dilakukan dengan menghitung nilai total konsumsi listrik dengan luas bangunan. Nilai intensitas konsumsi energi dijabarkan dalam satuan *Kilowatt per Meter cubic year* (kWh/m² /bulan). Angka IKE (kwh/m²/bulan) diperoleh dengan membagi jumlah kwh penggunaan listrik selama sebulan dengan luas bangunan yang digunakan. (USAID Indonesia Clean Energy Development [12]. Untuk menghitung nilai intensitas konsumsi energi (IKE) diperlukan data konsumsi listrik pada gedung dan luasan total dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [13].

$$IKE = \text{Energi yang digunakan (kWh/tahun)} / \text{Luas bangunan (m}^2\text{)}$$

Kriteria nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan gedung terbagi dalam dua kriteria, antara lain untuk bangunan ber-AC dan bangunan tidak ber-AC [14]. Kriteria nilai tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4** dibawah ini:

Tabel 4. Kriteria Nilai Intensitas Konsumsi Energi

Kriteria	Gedung Ber AC	Gedung Tanpa AC
	kWh/m ² /bulan	kWh/m ² /bulan
Sangat Efisien	<8,5	<3,4
Efisien	8,5-14	3,4-5,6
Cukup Efisien	14-18,5	5,6 - 7,4

Kriteria	Gedung Ber AC	Gedung Tanpa AC
	kWh/m ² /bulan	kWh/m ² /bulan
Boros	>18,5	>7,4

Sumber: Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi dan Pengawasannya di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional

Berikut rekapitulasi total konsumsi energi dan luas total bangunan:

Tabel 5. Total Konsumsi Energi dan Intensitas Konsumsi Energi Gedung

Nama Bangunan	Luas Bangunan	Rata-Rata konsumsi listrik	Intensitas Konsumsi Energi
Gedung III Fakultas Teknik UPNVJT	1.746,6 m ²	522.217,23 kWh/tahun 43.518,10 kWh/ bulan	24,92 kWh/m ² /bulan

Berdasarkan hasil perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) didapatkan bahwa Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur rata-rata mengkonsumsi 24,92 kWh/m²/ bulan dan masuk dalam kategori Boros [14].

Pembandingan Hasil

Terdapat perbedaan hasil analisis modeling dan eksisting diketahui terdapat beberapa perbedaan antar kedua hasil analisis, dimana pada kondisi eksisting menggunakan intensitas konsumsi energi masuk dalam kategori boros. Sedangkan, pada hasil permodelan terjadi penghematan energi sebesar 18,09% dibanding gedung serupa seperti yang terlihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Total Konsumsi Energi dan Intensitas Konsumsi Energi Gedung

No	Penggunaan Energi (per bulan)		Kategori	
	Eksisting	Modeling	Eksisting	Modeling
1	43.518,10 kWh	12.308 kWh	Boros	Hemat 18,09%

Hasil analisis yang telah dilakukan dan dijabarkan diatas memiliki perbedaan yang cukup signifikan akibat dari beberapa faktor, antara lain:

1. Hasil modeling berfokus pada spesifikasi penggunaan daya perangkat pencahayaan dan pendinginan, dengan batasan jumlah spesifik masing-masing perangkat tidak dapat dicantumkan secara langsung. Melainkan rata-rata daya penggunaan dari keseluruhan alat.
2. Pada perhitungan kondisi eksisting, dilakukan dengan menghitung nilai total konsumsi listrik dengan luas bangunan. Hal ini termasuk juga pada penggunaan listrik unit lain seperti laptop, printer, dispenser, hp ataupun unit lain yang tidak tercover pada perhitungan modeling energi.
3. Penggunaan lorong lantai 1 oleh mahasiswa baik pengguna Gedung III Fakultas Teknik sehari-hari maupun yang tidak sebagai *co-working space* yang mengkonsumsi listrik untuk perangkat laptop dan hp juga merupakan faktor terjadinya kenaikan penggunaan listrik pada gedung. Sedangkan untuk rata-rata jumlah penggunaan dan intensitas masih belum dapat dianalisis secara langsung pada hasil modeling.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat dipertimbangkan langkah-langkah selanjutnya untuk memaksimalkan potensi penghematan energi pada Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur.

Rekomendasi

Sesuai dengan hasil yang didapatkan dari analisis yang telah dilakukan serta memperhatikan kondisi lapangan. Maka terdapat beberapa upaya penghematan yang dapat dilakukan pada Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur. Beberapa upaya efisiensi energi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Optimalisasi Pencahayaan dalam Ruang – eksisting
 Optimalisasi dilakukan dengan mengganti lampu yang sudah mulai redup ataupun mati dalam ruangan, sehingga didapatkan tingkat penerangan yang lebih tinggi dengan daya yang sama.
2. Optimalisasi Pencahayaan dalam Ruang – *improved*

- Optimalisasi dilakukan dengan mengganti lampu yang ada menggunakan lampu yang lebih hemat energi. Sehingga didapatkan pengurangan penggunaan daya.
3. Optimalisasi Lampu Luar Ruangan
Optimalisasi dilakukan dengan mengganti lampu yang ada menggunakan lampu yang lebih hemat energi. Sehingga didapatkan pengurangan penggunaan daya.
 4. Optimalisasi Pendingin Ruangan – eksisting
Optimalisasi dilakukan dengan mengurangi jumlah AC beroperasi pada ruangan tertentu dengan harapan dapat mengurangi penggunaan daya.
 5. Optimalisasi Pendingin Ruangan – *improved*
Optimalisasi dilakukan dengan mengganti AC yang ada menggunakan AC yang lebih hemat energi. Sehingga didapatkan pengurangan penggunaan daya.
 6. Pengaturan Temperatur dan Jam Operasional AC
Pengaturan suhu yang terlalu rendah juga dapat membuat kinerja dari AC meningkat dan mengkonsumsi listrik yang besar. Oleh karena itu, pengaturan temperatur AC dapat menjadi salah satu opsi untuk menghemat energi.
 7. Perawatan AC Spit
Perawatan AC ini dapat dilaksanakan dengan menyusun kegiatan preventive maintenance untuk AC split dalam skala besar, yang didasarkan pada pola perawatan rutin yang disesuaikan dengan kapasitas yang digunakan dan dapat menghemat penggunaan listrik hingga 4% [15].

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan penerapan rekomendasi dari segi penghematan energi, biaya serta anggaran yang diperlukan:

Tabel 7. Rekapitulasi Rekomendasi

No	Rekomendasi Penghematan	Penghematan Energi/ Tahun (kWh)	Penghematan Biaya/ Tahun (Rp)	Anggaran Biaya (Rp)	Payback Period (Tahun)	Penambahan penghematan energi (EDGE)
1	Optimalisasi Pencahayaan dalam Ruangan - eksisting	-	-	Rp10.165.500	-	-
2	Optimalisasi Pencahayaan dalam Ruangan - improved	9.493,85	Rp8.781.809,40	Rp30.980.040	3,53	6,93
3	Optimalisasi Lampu luar Ruangan	2.573,42	Rp2.380.417,20	Rp8.397.520	3,53	0,25
4	Optimalisasi Pendingin Ruangan - eksisting	-	-	-	-	-
5	Optimalisasi Pendingin Ruangan - improved	20.479,20	Rp18.943.260,00	Rp313.500.000	16,55	9,24
6	Pengaturan Temperatur dan Jam Operasional AC	9.433,68	Rp8.726.154,00	-	-	-
7	Perawatan AC Split	3.839,98	Rp8.804.117,38	Rp32.190.000,00/ tahun	-	-

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa Gedung III Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur berhasil menghemat 18,09% konsumsi energi berdasarkan permodelan software EDGE. Akan tetapi, intensitas konsumsi energi bangunan tiap bulannya masih masuk dalam kategori boros dengan nilai 24,92 kWh/m²/bulan dikarenakan peningkatan penggunaan jumlah perangkat listrik seperti laptop maupun handphone seiring peningkatan jumlah mahasiswa. Terdapat pula upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan efisiensi energi dengan fokus kendali pada pengkondisian pencahayaan dan tata udara.

6. Referensi

- [1] Ghurri, A., Konsep Manajemen Energi. Bali: Jurusan Teknik Mesin - Universitas Udayana, 2016.
- [2] Magdalena, E. D. & Tondobala, L., Implementasi Konsep Zero Energy Building (ZEB) Dari Pendekatan Eco-Friendly Pada Rancangan Arsitektur. Media Matrasain, 13(1), pp. 1-15, 2016.
- [3] Badan Pusat Statistik, Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribu Jiwa), 2022-2024, 2024.
- [4] Indonesia, Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi. Jakarta, 2009.

- [5] Green Building Council Indonesia, Greenship Rating Tools: Greenship For The New Building Version 1.2 Summary of Criteria and Benchmark, 2013.
- [6] Budiawan, T. W. & Mubarok, H., Audit Energi Listrik dan Analisis Peluang Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Pendingin dan Pencahayaan di Gedung D3 Ekonomi UII, 2019.
- [7] Indonesia, Standar Nasional Indonesia (SNI) 7062:2019 tentang Pengukuran Intensitas Pencahayaan di Tempat Kerja, 2019.
- [8] Indranto, A., Analisis Kesesuaian Tata Cahaya Lampu Light Emitting Diode (LED) di Ruang Kelas PPSDM KEBTKE Berdasarkan Standar SNI-6197-2020. Migazoom, V(2), pp. 157-166, 2023.
- [9] Qayyim, P. R. F., Pengaruh Perubahan Tegangan Sumber Terhadap Lifetime Lampu Pijar, Lampu LED, dan Lampu Hemat Energi, 2018.
- [10] Syahputra, S. A., Siregar, F. & Panjaitan, J., Perbandingan Coefficient of Performance (COP) Chiller Water Cooled Dengan Air Cooled. ATDS SAINTECH - Journal of Engineering, pp. 21-28, 2021.
- [11] Putra, R. M., Wibowo, M. A. & Syafrudin, Aplikasi Green Building Berdasarkan Metode EDGE. Jurnal Politeknik Negeri Semarang, pp. 98-111, 2020.
- [12] USAID Indonesia Clean Energy Development (ICED Project), Panduan Penghematan Energi di Gedung Pemerintahan. Jakarta: USAID Indonesia, 2014.
- [13] Purnami, N. A., Arianti, R. & Setiawan, P., Analisis Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto (ITDA) Yogyakarta. AVITEC, pp. 225-240, 2022.
- [14] Indonesia, Pedoman Pelaksanaan Konservasi Energi dan Pengawasannya di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional, n.d.
- [15] Indra, L., Studi Mengenai Penghematan Energi Listrik di Area Umum Apartemen Eksekutif Menteng. SADE, I(2), pp. 69 – 80, 2021.