

PRAKIRAAN PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK DENGAN MENGIMPLEMENTASIKAN ASPEK GREEN BUILDING PADA GEDUNG SERBA GUNA (GSG) UNIVERSITAS DIPONEGORO

Muhammad Amin Zihni^{1*)}, Hermawan², dan Hadha Afrisal³

¹²³Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: muhammadaminzihni@students.undip.ac.id

Abstrak

Green Building tidak hanya mengatur bangunan yang tampak hijau, tetapi juga mengenai konservasi energi, konservasi air, manajemen lingkungan pada bangunan. Pada *GreenShip Rating Tools* v1.2 konservasi dan efisiensi energi yang perlu dilakukan pada perancangan bangunan adalah membandingkan konsumsi energi pada desain perencanaan dan desain rekomendasi perencanaan ulang bangunan. Pada penelitian ini dilakukan konservasi dan efisiensi energi dengan perhitungan konsumsi energi dan simulasi menggunakan *software* bantu Sefaira *plugin* pada perencanaan Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro. Perwal Kota Semarang No.24 tahun 2019 dan Permen PUPR No.2 Tahun 2015 menjadi standar acuan utama yang digunakan. Nilai *Over Thermal Transfer Value* (OTTV) pada bangunan semula 69,95 Watt/m² menjadi 33,65 Watt/m², nilai tersebut telah memenuhi standar *green building* sebesar 35 Watt/m². Penurunan nilai OTTV ini disebabkan adanya perencanaan ulang pada jenis kaca, penambahan peneduh, dan pengurangan luasan kaca. Hasil perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) semula sebesar 124,79 kWh/m²/Tahun, turun menjadi 97,38 kWh/m²/Tahun, setelah menerapkan semua rekomendasi perencanaan ulang. Hal ini sejalan dengan simulasi menggunakan Sefaira *plugin*, dimana nilai IKE berubah semula 110 kWh/m²/Tahun menjadi 97 kWh/m²/Tahun.

Kata kunci : *Green Building, Intensitas Konsumsi Energi (IKE), Selubung Bangunan, Over Thermal Transfer Value (OTTV)*

Abstract

Green Building not only regulates buildings that look green, but also about energy conservation, water conservation, environmental management in buildings. In *GreenShip Rating Tools* v1.2 Energy Efficiency and Conservation (EEC) that needs to be done in building design is to compare energy consumption in the design of planning and design of re-planning recommendations. In this research, EEC were carried out by calculating energy consumption and simulations using Sefaira plugin in the planning of Diponegoro University Multipurpose Building. Semarang City Regulation No.24 of 2019, and PM PUPR No.2 of 2015 are the main reference standards used. The Over Thermal Transfer Value (OTTV) in the original building was 69.95 Watts/m² down to 33.65 Watts/m², the value has met the green building standard of 35 Watts/m². This decrease in OTTV value is due to the improvement in glass types, the addition of shade, and the reduction of glass area. The result of the calculation of Energy Use Intensity (EUI) was originally 124,79 kWh/m²/Year, down to 97,38 kWh/m²/Year after implementing all improvement recommendations. This is in line with the simulation using the Sefaira plugin, where the EUI value changes originally from 110 kWh/m²/Year down to 97 kWh/m²/Year.

Keyword : *Green Building, Energy Use Intensity (EUI), building envelope, Over Thermal Transfer Value (OTTV).*

1. Pendahuluan

Bangunan gedung hijau (*Green Building*) adalah bangunan gedung yang memenuhi persyaratan yang ada dan memiliki kinerja terukur dalam hal penghematan energi, air, dan sumber daya lainnya melalui penerapan prinsip bangunan gedung hijau [1]. *Green Building* mengatur penggunaan energi listrik seperti sistem pencahayaan, sistem pengkondisian pendingin udara (AC), sistem instalasi listrik, dan konservasi energi pada

bangunan. Universitas Diponegoro saat ini sedang merancang Gedung Serba Guna (GSG) dengan luas lebih dari 30.000 m² yang mana pembangunan gedung ini akan dirancang dengan konsep *Green Building*. Selubung bangunan gedung ini direncanakan memiliki banyak kaca dengan harapan pencahayaan alami akan mengurangi beban lampu. Sehingga diperlukan desain yang baik pada bangunan, karena dengan banyaknya kaca akan memberikan energi panas berlebih kedalam gedung. Bentuk bangunan, orientasi, luasan kaca, jenis kaca,

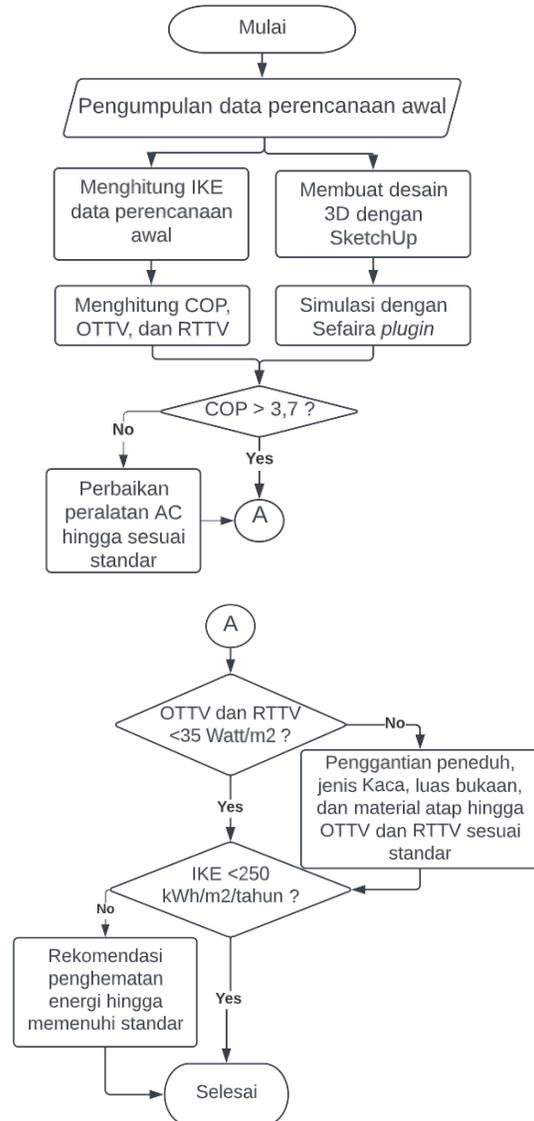
material dinding, dan jenis atap mempengaruhi masuknya panas kedalam bangunan. Desain bangunan yang buruk, akan menyebabkan panas eksternal berlebihan masuk kedalam bangunan sehingga menambah beban penggunaan listrik untuk sistem pengkondisian pendingin udara (AC), hal ini menyebabkan bangunan tidak sesuai konsep *Green Building*.

Prakiraan energi listrik diperlukan sebagai acuan dan dasar agar penggunaan energi pada gedung sesuai dengan konsep *Green Building*. Selain itu dengan melakukan prakiraan energi pada Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro, dapat diperoleh potensi penghematan energi listrik. Untuk memprakirakan penggunaan energi listrik dihitung secara konvensional dan didukung dengan menggunakan *energy modelling software*. Prakiraan energi listrik ini mempertimbangkan selubung bangunan yang mempengaruhi beban pendingin, *coefficient of performance* (COP) dari peralatan pengkondisian udara (AC), dan *Light Power Density* (LPD) pada sistem pencahayaan. Kriteria tersebut mengikuti *GreenShip Rating Tools v1.2* yang dikeluarkan oleh *Green Building Council Indonesia* (GBCI), yaitu lembaga yang bergerak pada sertifikasi *Green Building* [2]. Terdapat pula kriteria dan peraturan yang dikeluarkan pemerintah mengenai bangunan gedung hijau/*Green Building*, seperti pada Permen PUPR No.2 Tahun 2015 dan Perwal Kota Semarang No.24 Tahun 2019.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

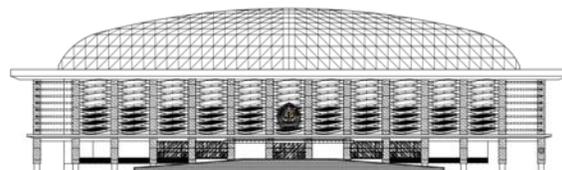
Metode penelitian dari tugas akhir ini diperlihatkan pada Gambar 1. Metode penelitian ini mencakup tahapan-tahapan yang akan ditempuh, dimulai dengan pengumpulan data hingga rekomendasi penghematan listrik.



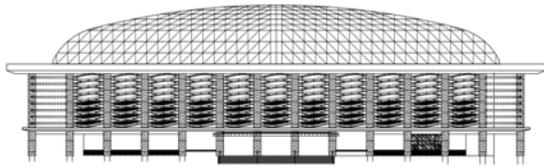
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Data Penelitian

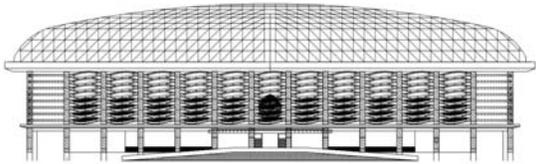
Data yang diperoleh berupa perencanaan desain fasad Gedung GSG Universitas Diponegoro. Gambar desain fasad gedung diperlihatkan pada Gambar 2 hingga Gambar 6.



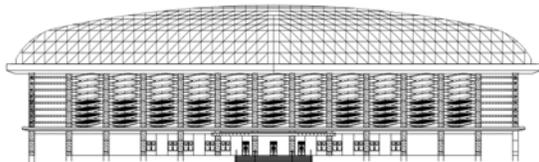
Gambar 2. Desain fasad selatan Gedung GSG Universitas Diponegoro



Gambar 3. Desain fasad utara Gedung GSG Universitas Diponegoro



Gambar 4. Desain fasad barat Gedung GSG Universitas Diponegoro



Gambar 5. Desain fasad timur Gedung GSG Universitas Diponegoro



Gambar 6. Desain 3D bangunan dengan SketchUp Pro 2022

2.3. Standar Prakiraan Energi

Perhitungan prakiraan energi pada perencanaan bangunan dengan konsep *Green Building* didasarkan pada *GreenShip Rating Tools V1.2*. Pada Perwal Semarang Nomor 24 Tahun 2019 dan Permen PUPR No. 2 Tahun 2015 tentang Bangunan Gedung Hijau disebutkan bahwa nilai paling tinggi *Over Thermal Transfer Value* (OTTV) dan *Roof Thermal Transfer Value* (RTTV) ditetapkan paling tinggi 35 Watt/m² rata-rata dalam satu bangunan. Selain itu pada peraturan tersebut juga diatur nilai COP pada peralatan pengkondisian udara (AC) minimal 3,7. Sedangkan untuk standar sistem pencahayaan yaitu *Light Power Density* (LPD) paling tinggi adalah sebesar 8 Watt/m². Pada Permen PUPR No. 2 tahun 2015 tentang Bangunan Gedung Hijau disebutkan bahwa ketentuan mengenai tata cara, persyaratan, ukuran dan detail penerapan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung hijau mengikuti SNI 6197:2020 [3]. Adapun standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang dikeluarkan oleh GBCI agar bangunan mendapat kriteria “efisien”, maksimal sebesar 250 kWh/m²/Tahun [4].

Sedangkan standar IKE ruangan ber-AC pada Permen ESDM No.13 Tahun 2012 ditunjukkan pada Tabel 1 [5].

Tabel 1. Standar IKE berdasarkan Permen ESDM No.13 Tahun 2012

Kriteria Gedung	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m ² /Bulan)
Sangat Efisien	Lebih kecil dari 3,4
Efisien	3,4 sampai dengan lebih kecil dari 5,6
Cukup Efisien	5,6 sampai dengan lebih kecil dari 7,4
Boros	Lebih besar sama dengan 7,4

2.4. Rumus Perhitungan

Perhitungan prakiraan konsumsi energi dengan menerapkan kriteria *Green Building* yaitu meliputi IKE, OTTV, RTTV, LPD, dan COP menggunakan persamaan berikut ini [1] [6] [7].

Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

$$IKE = \frac{\text{Penggunaan Energi Listrik (kWh)}}{\text{Luas Bangunan (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Over Thermal Transfer Value (OTTV)

$$OTTV = \frac{\alpha[U_w \times (1 - WWR)] \times (TD)_{EK} + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF)}{A} \quad (2)$$

Roof Thermal Transfer Value (RTTV)

$$RTTV = \frac{\alpha(A_r \times U_r \times (TD)_{EK}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_s \times SC \times SF)}{A_o} \quad (3)$$

Light Power Density (LPD)

$$LPD = \frac{\text{Total Daya}}{A} \quad (4)$$

Coefficient Of Performance (COP)

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (5)$$

Keterangan :

- α = absorbtansi radiasi matahari
- UW = transmitansi termal dinding (W/m²K)
- WWR = luas jendela dibanding dengan luas dinding luar
- (TD)EK = beda temperatur ekuivalen (K)
- Uf = transmitansi termal fenestrasi (W/m²K)
- Ar = luas atap yang tidak transparan (m²).
- As = luas *skylight* (m²).
- Ao = luas total atap = Ar + As (m²)
- Ur = transmitansi termal atap (W/m²K)
- TDEK = beda temperatur ekuivalen (K)
- SC = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.
- SF = faktor radiasi matahari (W/m²).
- Us = transmitansi termal *skylight* (W/m².K)
- ΔT = beda temperatur (diambil 5 K).
- A = luas ruang (m²)
- Q = efek pendinginan
- W = *input* kerja

Sedangkan untuk menghitung beban pendingin internal, digunakan metode *Internal Cooling Load Factor* (CLF) yang terdapat pada SNI 6572-2001.

A. Panas internal berasal dari manusia
 $Q_{hs} = N \times q_{hs} \times CLF$ (sensibel) (6)
 $Q_{hl} = P \times q_{hl} \times CLF$ (Laten) (7)

B. Panas internal berasal dari pencahayaan buatan
 $QL = W \times Ful \times Fsa \times CLF$ (8)

C. Panas internal berasal dari peralatan elektronik lainnya
 $Q_{es} = P_s \times E_f \times CLF$ (Sensibel) (9)
 $Q_{el} = P_l \times E_f \times CLF$ (Laten) (10)

Keterangan :

- N = jumlah manusia
- q_{hs} = panas sensibel tubuh manusia (W/person)
- q_{hl} = panas laten tubuh manusia (W/person)
- W = daya listrik pencahayaan buatan (W)
- P_s = daya listrik peralatan elektronik sensibel (W)
- P_l = daya listrik peralatan elektronik laten (W)
- q_{es} = panas sensibel dari peralatan (W/m²)
- q_{el} = panas laten dari peralatan (W/m²)
- Ful = faktor penggunaan pencahayaan
- Fsa = faktor toleransi khusus
- CLF = faktor beban pendinginan sesuai jam penghunian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan dan Simulasi OTTV

Perhitungan OTTV menggunakan bantuan dari *Spreadsheet Calculator* Kota Semarang, sedangkan untuk simulasi desain 3D menggunakan *software* SketchUp Pro 2022 dan bantuan *Sefaira plugin*. Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa nilai OTTV pada perencanaan GSG Universitas Diponegoro adalah 69,95 Watt/m², sehingga belum memenuhi standar yang ada. Berdasarkan penelitian sebelumnya, jenis kaca, peneduh, luasan kaca, orientasi dan bentuk bangunan sangat mempengaruhi nilai dari OTTV [8][9][10][11]. Oleh karena itu direkomendasikan perencanaan ulang dengan penggantian jenis kaca, penambahan peneduh menjadi jenis vertikal, dan pengurangan luas kaca pada setiap bidangnya. Spesifikasi lengkap dari material yang direkomendasikan terdapat pada Tabel 2 hingga Tabel 4.

Tabel 2. Rekomendasi perencanaan ulang pada peneduh

Sisi	Perencanaan	Rekomendasi perencanaan ulang
Timur Laut & Barat Daya	Peneduh Horizontal	Peneduh Vertikal
	Panjang : 5 m	Panjang : 0,6 m
	Tinggi : 11,5 m	Lebar : 0,7 m
Tenggara & Barat Laut	Peneduh Horizontal	Peneduh Vertikal
	Panjang : 5,2 m	Panjang : 0,6 m
	Tinggi : 11,5 m	Lebar : 0,7 m
	Kemiringan : 10°	Kemiringan : 10°

Tabel 3. Rekomendasi perencanaan ulang pada jenis kaca

Perencanaan	Rekomendasi perencanaan ulang
Kaca tunggal 8 mm <i>Clear</i> SGHC : 0,82	Kaca <i>Stopsol dark blue</i> 8 mm SGHC : 0,36
U Value : 4,94 W/m ² .K	U Value : 5,7 W/m ² .K

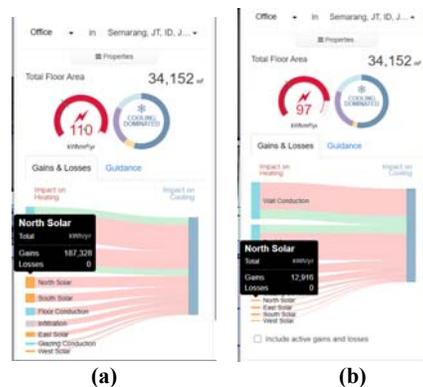
Tabel 4. Rekomendasi perencanaan ulang pada area bukaan/kaca

Sisi	Perencanaan Area Bukaan (m)	Rekomendasi perencanaan ulang Area Bukaan (m)
Timur Laut	745,2	550
Tenggara	664,16	664,16
Barat Daya	745,2	600
Barat Laut	745,2	550

Rekomendasi perencanaan ulang tersebut terbukti mengurangi nilai OTTV/perolehan panas dari selubung bangunan sehingga memenuhi standar Pada Perwal Semarang No.24 Tahun 2019 dan PUPR No. 2 Tahun 2015 tentang Bangunan Gedung Hijau. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan dan simulasi menggunakan *Sefaira plugin*. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 5, sedangkan hasil simulasi di tunjukkan pada Gambar 7(a) dan Gambar 7(b).

Tabel 5. Hasil perhitungan OTTV sebelum dan sesudah perencanaan ulang

Side	Sebelum perencanaan ulang		Setelah perencanaan ulang	
	Total Area Fasad (m ²)	OTTV (Watt/m ²)	Total Area Fasad (m ²)	OTTV (Watt/m ²)
Timur laut	1.323,00	77,30	1.323,00	33,56
Tenggara	1.335,60	56,47	1.335,60	34,01
Barat daya	1.323,00	66,31	1.323,00	32,82
Barat laut	1.335,60	79,75	1.335,60	34,19
Total	5.317,20	69,95	5.317,20	33,65



Gambar 7. Hasil simulasi OTTV (a) Sebelum perencanaan ulang (b) Setelah perencanaan ulang

Berdasarkan hasil perencanaan ulang OTTV dan dikuatkan dengan data hasil simulasi, konduksi dan radiasi panas

yang melalui bukaan berkurang signifikan, namun untuk konduksi panas melalui dinding terjadi sedikit peningkatan. Hal ini adalah dampak dari pengurangan area bukaan guna mengurangi panas matahari langsung, sehingga bagian yang tadinya berupa kaca diubah menjadi dinding. Namun karena kaca menjadi penyumbang panas terbesar, secara keseluruhan total perolehan panas menurun drastis. Pada perhitungan OTTV terjadi perubahan total panas dari 371.926,72 Watt menjadi 178.911,70 Watt. Sedangkan pada simulasi terjadi perubahan penggunaan energi listrik untuk beban pendingin dari akibat panas dari konduksi dinding, konduksi kaca, dan radiasi kaca semula 646.093 kWh/Tahun menjadi 272.747 kWh/Tahun.

3.2. Perhitungan dan Simulasi RTTV

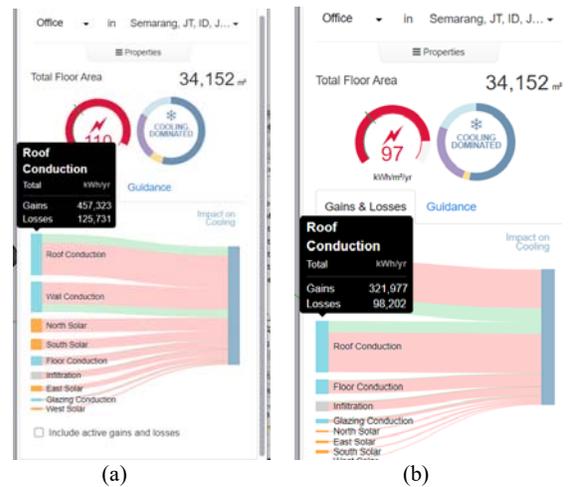
Pada hasil perhitungan RTTV Gedung Serba Guna Universitas Diponegoro, didapatkan hasil RTTV sebesar 16,90 Watt/m². Bila dibandingkan dengan standar yang ada pada Permen PUPR No. 2 Tahun 2015, maka GSG Universitas Diponegoro telah memenuhi kriteria *Green Building*. Namun bila melihat dari hasil simulasi pada Gambar 8 (a) dapat dilihat bahwa perolehan panas dari atap menjadi yang terbesar mempengaruhi beban pendingin. Hal ini dikarenakan luasan atap lebih besar daripada dinding yang mengelilingi luar bangunan. Melihat material yang digunakan dalam perencanaan Gedung Serba Guna Universitas Diponegoro, masih terdapat potensi pengoptimalan material yang digunakan, agar energi listrik yang digunakan untuk peralatan pendinginan dapat lebih efisien. Perhitungan RTTV setelah perencanaan ulang ditampilkan pada persamaan berikut ini.

$$RTTV = \frac{\alpha(A_r \times U_r \times TD_{EK}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_g \times SC \times SF)}{13.813,92}$$

$$= \frac{0,12(13445 \times 0,4 \times 24) + (369 \times 5,7 \times 5) + (369 \times 0,57 \times 316)}{13.813,92}$$

$$= 6,69 \text{ W/m}^2$$

Penggantian material atap menjadi atap genteng, menghasilkan nilai RTTV/konduksi panas melalui atap yang lebih rendah. Pada perhitungan diatas nilai RTTV berubah menjadi 6,69 Watt/m². Sedangkan pada simulasi menggunakan Sefaira *plugin*, dapat dilihat pada Gambar 8 (a) konduksi panas dari atap berkurang.



Gambar 8. Hasil simulasi RTTV (a) Sebelum perencanaan ulang (b) Setelah perencanaan ulang

3.3. Hasil Perencanaan Ulang Lampu

Pada sistem pencahayaan, perlunya perhitungan LPD setiap ruang untuk dibandingkan dengan standar pada Permen PUPR No. 2 Tahun 2015 agar dapat diketahui kesesuaian pencahayaan Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro dengan kriteria *Green Building* yang berlaku. Selain pemenuhan standar LPD, setiap ruang juga telah memenuhi standar tingkat pencahayaan yang ada pada SNI 6197-2020. Hasil simulasi dan pengoptimalan sistem pencahayaan didapatkan *Light Power Density* (LPD) dengan menggunakan rumus pada subbab 2.4 sebagai berikut.

$$LPD = \frac{Total \text{ Daya}}{A} = \frac{53157}{34152} = 1,56 \text{ Watt/m}^2$$

Hasil *Light Power Density* (LPD) bangunan Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro dengan data hasil simulasi didapatkan 1,56 Watt/m². Sedangkan total daya listrik untuk penerangan dalam bangunan (*indoor*) berubah semula 96.533 Watt, menjadi sebesar 53.157 Watt. Sehingga total penghematan daya listrik guna pencahayaan sebesar 43.376 Watt atau sebesar 44,93%.

Rekomendasi perencanaan ulang hanya menyangkut penerangan dalam bangunan gedung, tidak termasuk penerangan lingkungan dan penerangan lain diluar gedung. Data rekomendasi penghematan sistem pencahayaan pada Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro diperoleh dari penelitian sebelumnya [12].

3.4. Beban Pendingin

Perencanaan ulang yang telah dilakukan pada peralatan OTTV dan RTTV menyebabkan berkurangnya panas dari luar yang mempengaruhi beban pendingin. Sedangkan perencanaan ulang sistem pencahayaan pada bagian dalam

(indoor) gedung mengakibatkan penurunan panas internal akibat sistem pencahayaan (lampu). Maka perubahan panas internal tersebut dapat dilihat pada perhitungan berikut ini [13] [14].

Parameter :

- N = 3000 person
- qhs = 73 W/person
- qhl = 59 W/person
- Ps = 344.148 Watt
- Pl = 68.829,6 Watt
- Ef = 0,85
- CLF = 0,89 (manusia dan peralatan)
- CLF = 0,88 (pencahayaan)

Panas internal berasal dari manusia
 $Q_{hs} = N \times q_{hs} \times CLF$ (sensibel)
 $Q_{hs} = 3000 \times 73 \times 0,89$
 $Q_{hs} = 194.910 \text{ watt}$

$Q_{hl} = P \times q_{hl} \times CLF$ (Laten)
 $Q_{hl} = 3000 \times 59 \times 0,89$
 $Q_{hl} = 157.530 \text{ watt}$

Panas internal berasal dari pencahayaan buatan
 $Q_L = W \times Ful \times Fsa \times CLF$
 $Q_L = 53157 \times 1 \times 1 \times 0,88$
 $Q_L = 46.778,16 \text{ watt}$

Panas internal berasal dari peralatan elektronik
 $Q_{es} = P_s \times E_f \times CLF$ (Sensibel)
 $Q_{es} = 344.148 \times 0,85 \times 0,89$
 $Q_{es} = 260.348 \text{ watt}$

$Q_{el} = P_l \times E_f \times CLF$ (Laten)
 $Q_{el} = 68.829,6 \times 0,85 \times 0,89$
 $Q_{el} = 52.069,59 \text{ watt}$

Sehingga total panas internal setelah perencanaan ulang pada sistem pencahayaan tampak pada perhitungan berikut.

$Q = Q_{hs} + Q_{hl} + Q_L + Q_{es} + Q_{el}$
 $Q = 194.910 + 157.530 + 46.778 + 260.347,96 + 52.069,59$
 $Q = 711.635,71 \text{ watt}$

Dari perhitungan tersebut dapat dihitung keseluruhan panas yang mempengaruhi beban pendingin dari luar bangunan maupun dalam bangunan adalah sebagai berikut.

$Q_{total} = OTTV + RTTV + \text{Beban pendingin internal}$
 $Q_{total} = (33,65 \times 5.317) + (6,69 \times 13.813) + 711.635$
 $Q_{total} = 178.911,7 \text{ watt} + 92.397 \text{ watt} + 711.635,7 \text{ watt}$
 $Q_{total} = 982.944,61 \text{ watt}$

Berdasarkan hasil perhitungan panas total yang mempengaruhi beban pendingin, terjadi penurunan dari

1.365.413,89 Watt menjadi sebesar 982.944,61 Watt. Penurunan panas sebesar 382.469,28 Watt atau 28,01% ini dipengaruhi oleh perencanaan ulang pada selubung bangunan. Bentuk panas ini dapat dikonversikan ke dalam Watt listrik, dengan menggunakan persamaan COP dari peralatan pengkondisian AC yang digunakan. Berikut ini adalah nilai penggunaan daya listrik yang dapat dihemat setelah perencanaan ulang.

$$COP = \frac{Q}{W}$$

$$W = \frac{Q}{COP}$$

$$W = \frac{382.469,28}{3,38} = 113.156,59 \text{ Watt}$$

Sehingga daya listrik yang dapat dihemat dari beban pendingin akibat penggantian selubung bangunan adalah 113.156,59 Watt.

3.5. Hasil Perencanaan Ulang Nilai COP

Pada perencanaan peralatan pengkondisian udara (AC) pada Gedung Serba Guna Universitas Diponegoro terdapat peralatan yang masih belum memenuhi kriteria *Green Building* Pada Perwal Semarang Nomor 24 Tahun 2019 karena nilai COP-nya masih dibawah 3,7. Sehingga perencanaan ulang perlu dilakukan agar nilai COP dari peralatan memenuhi kriteria *Green Building*. Perencanaan ulang yang dilakukan adalah dengan penggantian peralatan yang nilai COP-nya kurang dari 3,7. Pada rekomendasi perencanaan ulang ini digunakan produk berteknologi *Air Cooled VRF Heat Pump*. Peralatan pengkondisian udara dengan teknologi *Variable Refrigerant Flow* (VRF) memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi, salah satunya dikarenakan penggunaan inverter pada kompresornya [15].

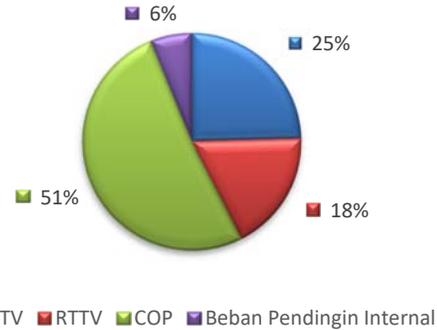
Tabel 6. Hasil perencanaan ulang peralatan pengkondisian udara (AC)

Lokasi	Jenis dan Kapasitas (BTU/h)	Perencanaan		Perencanaan ulang	
		Daya (Watt)	COP	Daya (Watt)	COP
Basement A	Wall Mounted ; 9.000	33		12	
	Cassette ; 48.000	1.584		836	
	Outdoor AC ; 554.100	40.698	3,99	39.510	4,11
Basement B	Cassette ; 48.000	1.584		836	
	Outdoor AC ; 535.000	37.800	4,15	36.970	4,24
Lantai 1 A	Wall Mounted ; 9.000	33		12	
	Cassette ; 30.000	2.016		504	
	Cassette ; 42.000	1.008		483	
	Cassette ; 48.000	576		304	
Lantai 1 B	Outdoor AC ; 573.200	42.198	3,98	35.620	4,24
	Outdoor AC ; 363.000 /44 HP	26.100	4,08	29.070	4,24
	Wall Mounted ; 9.000	528		192	
	Wall Mounted ; 18.000	33		26	

Lokasi	Jenis dan Kapasitas (BTU/h)	Perencanaan		Perencanaan ulang	
		Daya (Watt)	COP	Daya (Watt)	COP
Lantai 2 A	Cassette ; 30.000	3.456		864	
	Cassette ; 36.000	432		147	
	Outdoor AC ; 515.900	35.898	4,21	35.620	4,24
	Outdoor AC ; 496.800	35.898	4,06	35.620	4,24
	Wall Mounted ; 9.000	165		60	
	Wall Mounted ; 12.000	66		26	
	Wall Mounted ; 18.000	33		26	
	Cassette ; 48.000	864		456	
	Outdoor AC ; 382.100	28.299	3,96	24.620	4,55
	Lantai 2 B	Wall Mounted ; 9.000	66		66
Wall Mounted ; 12.000		66		66	
Cassette ; 48.000		720		720	
Outdoor AC ; 286.600		18.498	4,54	18.498	4,54
Bank BNI	Wall Mounted ; 5.000	33		33	
	Wall Mounted ; 15.000	33		33	
	Cassette ; 24.000	144		144	
	Cassette ; 42.000	432		432	
Hotel	Outdoor ; 172.000	10.910	4,62	10.910	4,62
	Wall Mounted ; 12.000	300		300	
	Cassette ; 36.000	288		288	
	Cassette ; 48.000	144		144	
Hall	Outdoor ; 248.400	16.300	4,47	16.300	4,47
	AC Hall ; 649.800	50.382		50.382	
	Outdoor ; 649.800	507.600	3,38	409.500	4,19
	AC Hall ; 248.500	5.994		5.994	
Total	Outdoor ; 248.500	60.300	3,63	56.580	4,45
		931.512		812.204	

Tabel 6 menunjukkan hasil penggantian peralatan pengkondisian udara (AC), dengan nilai COP lebih dari 3,7 pada setiap peralatannya. Bahkan nilai COP ini melebihi standar pada SNI 6390-2020 yang menyatakan bahwa COP untuk peralatan pengkondisian udara berjenis *Variable Refrigerant Flow* (VRF) batas minimal nilai COP adalah 3,81 [16].

Bila penghematan akibat penggantian selubung bangunan digabungkan dengan penghematan akibat penggantian peralatan pengkondisian udara maka akan didapatkan total penghematan energi listrik untuk beban pendingin sebesar 232.464,59 Watt. Penghematan konsumsi energi tersebut berasal dari perencanaan ulang nilai OTTV, nilai RTTV, nilai COP, dan beban pendingin internal, dengan persentase yang tampak pada Gambar 9.



Gambar 9. Sumber perencanaan ulang peralatan pendingin.

3.6. Hasil Perhitungan dan Simulasi IKE

Prakiraan energi listrik pada Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro dihitung menggunakan faktor penggunaan peralatan, berdasarkan fungsi ruang, dan jam kerja pada bangunan. Konsumsi energi tersebut dihitung setiap bulannya berdasarkan jumlah hari kerja dan hari libur di Indonesia.

Konsumsi energi pada Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro mengalami penurunan akibat perencanaan ulang yang telah dilakukan seperti penggantian peralatan pengkondisian udara, selubung bangunan, dan sistem pencahayaan. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) dalam setahun sebelum dan setelah perencanaan ulang berdasarkan segmentasinya ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan IKE setiap tahun berdasarkan segmentasinya

Segmentasi	Perencanaan kWh/m ² /Tahun	Perencanaan ulang kWh/m ² /Tahun	Potensi Penghematan kWh/m ² /Tahun
Pendingin	89,04	67,46	21,58
Pencahayaan	12,16	6,33	5,83
Peralatan	23,59	23,59	0
IKE (Total)	124,79	97,38	27,41

Sedangkan hasil simulasi seperti pada Gambar 8 (b), didapatkan nilai IKE sebesar 97 kWh/m²/Tahun. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) sebelum dan setelah perencanaan ulang ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai IKE sebelum dan setelah perencanaan ulang

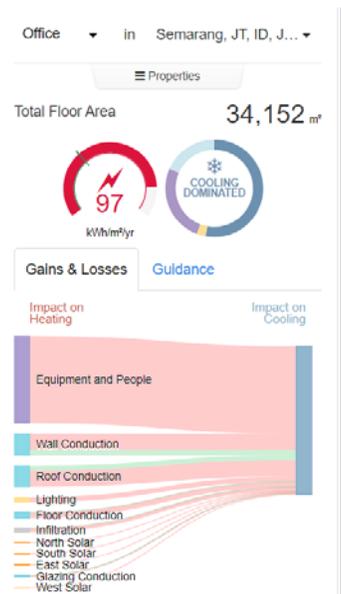
	Perhitungan		Simulasi	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
kWh/m ² /Tahun	124,79	97,38	110,00	97,00
kWh/m ² /Bulan	10,40	8,12	9,16	8,08

Terdapat penurunan nilai IKE setelah perencanaan ulang sebesar 22,52 kWh/m²/Tahun atau sebesar 21,96 %. Penghematan terbesar terjadi pada penurunan beban pendinginan sebesar 19,11 kWh/m²/Tahun. Sedangkan penghematan pada sistem pencahayaan Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro sebesar 3,40

kWh/m²/Tahun.



Gambar 10. Nilai IKE simulasi sebelum perencanaan ulang



Gambar 11. Nilai IKE simulasi setelah perencanaan ulang

Sedangkan pada hasil simulasi yang terlihat di Gambar 10 dan Gambar 11 juga didapatkan nilai IKE yang menurun dari semula sebesar 110 kWh/m²/Tahun menjadi 97 kWh/m²/Tahun. Hal ini berarti terjadi penurunan sebesar 13 kWh/m²/Tahun atau 11,8%. Penurunan ini terjadi pada bagian beban pendingin dan beban pencahayaan. Beban pendingin menurun sebesar 8,77 kWh/m²/Tahun, sedangkan pencahayaan terjadi penurunan sebesar 4,11 kWh/m²/Tahun.

Perbedaan antara nilai IKE perhitungan dan simulasi

dikarenakan pada simulasi dengan Sefaira *plugin*, tidak dapat mengubah faktor COP peralatan yang digunakan. Selain itu juga karena terdapat beberapa koefisien pada Sefaira *plugin* yang tak dapat diubah nilainya. Bila mengacu pada standar IKE Permen ESDM dan IKE yang dikeluarkan GBCI, nilai IKE Gedung Serba Guna (GSG) Universitas Diponegoro telah memenuhi syarat yang berlaku dan tergolong sangat efisien setelah pelaksanaan rekomendasi perbaikan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data perencanaan awal didapatkan bahwa nilai OTTV dan COP peralatan pengkondisian udara (AC) pada selubung bangunan belum memenuhi kriteria *Green Building*. Namun untuk nilai IKE dan RTTV telah memenuhi kriteria *Green Building*. Perencanaan ulang pada peralatan pengkondisian udara (AC) yaitu dengan penggantian peralatan berteknologi *Variable Refrigerant Flow* (VRF) yang memiliki nilai COP lebih dari 4,11, sehingga didapatkan penghematan sebesar 12,8%. Rekomendasi perencanaan ulang pada selubung bangunan menyebabkan nilai OTTV menurun menjadi 33,65 Watt/m² dan memenuhi standar *Green Building*. Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) setelah menerapkan rekomendasi perencanaan ulang peralatan pengkondisian udara, selubung bangunan, dan sistem pencahayaan menurun menjadi 97,38 kWh/m²/Tahun dengan kata lain turun sebesar 21,96 %.

Referensi

- [1] Peraturan Walikota Semarang, *PERATURAN WALIKOTA SEMARANG NOMOR 24 TAHUN 2019 TENTANG BANGUNAN GEDUNG HIJAU*. 2019, pp. 1–24.
- [2] GBCI, *Perangkat Penilaian GREENSHIP (GREENSHIP Rating Tools)*, no. April. 2013.
- [3] SNI 6197-2020, *Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan*. 2020.
- [4] Anisah, I. Inayati, F. X. N. Soelami, and R. Triyogo, “Identification of Existing Office Buildings Potential to Become Green Buildings in Energy Efficiency Aspect,” *Procedia Eng.*, vol. 170, pp. 320–324, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.040.
- [5] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, “Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 13 Tahun 2012 Tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik,” *Jar. Dokumentasi dan Inf. Huk.*, pp. 1–14, 2012, [Online]. Available: <https://jdih.esdm.go.id>.
- [6] Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2021 Tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau,” pp. 1–38, 2021, [Online]. Available: <https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/2882/1>.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 6389:2011, tentang Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung,” pp. 1–60, 2011.
- [8] S. H. Safitri and A. Zakiah, “Pengaruh Desain Shading

- Bangunan Terhadap Nilai OTTV Melalui Studi Preseden Praktek Arsitektur di Era Kelaziman Baru,” in *Seminar Karya & Pameran Arsitektur Indonesia: Sustainability in Architecture 2020*, 2020, pp. 8–16, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/27595?show=full>.
- [9] G. H. Purwoko, “Pengaruh Bentuk Dasar Dan Orientasi Bangunan Terhadap,” *Serat Rupa J. Des.*, vol. 1, pp. 406–416, 2017, [Online]. Available: <https://journal.maranatha.edu/index.php/srjd/article/view/482/466>.
- [10] D. R. Wibowo, W. S. Budi, and E. Setyowati, “Pengaruh Material Kaca Terhadap Perpindahan Panas pada Bangunan Pendidikan (Studi Kasus Gedung Pasca Sarjana Poltekkes Semarang),” *Arsir*, vol. 4, pp. 11–24, 2020, doi: 10.32502/arsir.v4i2.2813.
- [11] W. Aseani, E. Setyowati, and S. R. Sari, “Pengaruh Material Kaca Sebagai Selubung Bangunan Terhadap Besar Perpindahan Panas Pada Gedung Diklat Pmi Provinsi Jawa Tengah,” *J. Arsit. ARCADE*, vol. 3, pp. 80–87, 2019, doi: 10.31848/arcade.v3i1.202.
- [12] N. Yunita, “IMPLEMENTASI ASPEK GREEN BUILDING PADA PERANCANGAN SISTEM PENCAHAYAAN GEDUNG SERBA GUNA (GSG) UNIVERSITAS DIPONEGORO,” Universitas Diponegoro, 2022.
- [13] S. Chirarattananon and J. Taveekun, “An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand,” *Energy Build.*, vol. 36, no. 7, pp. 680–689, 2004, doi: 10.1016/j.enbuild.2004.01.035.
- [14] SNI 03-6572-2001, “Tata Cara Perencanaan Sistem Ventilasi Dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan.” 2001.
- [15] K. S. Khan, W. Amjad, A. Munir, and O. Hensel, “Improved solar milk chilling system using variable refrigerant flow technology (VRF),” *Sol. Energy*, vol. 197, no. April 2019, pp. 317–325, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.01.014.
- [16] SNI 6390:2020, *Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung*. Indonesia, 2020, p. 36.