

Analisis Berbasis Pemodelan Urban terhadap Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik pada Pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga

Isra' Nuur Darmawan^{1,*}, Kholistianingsih², Rahardian Luthfi Prasetyo³, Mokhamad Irvansyah⁴,
Dimas Rendra Pramudhipa⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Wijayakusuma Purwokerto, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Januari 8, 2026

Accepted Februari 13, 2026

Published Februari 15, 2026

Keywords:

Bandar Udara
Pengembangan Infrastruktur
Pemodelan Berbasis Simulasi
Urban Modeling Interfaces
Versi 3.0

ABSTRAK

Bandar udara merupakan simpul transportasi strategis yang memerlukan dukungan infrastruktur energi listrik yang andal dan berkelanjutan. Di Indonesia terdapat 367 bandar udara aktif, salah satunya Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga yang masih berada pada tahap pengembangan fasilitas. Kondisi bangunan yang belum sepenuhnya permanen menuntut perencanaan kebutuhan energi listrik secara komprehensif guna mendukung peningkatan pelayanan. Penelitian ini bertujuan memproyeksikan kebutuhan energi listrik kawasan pengembangan bandar udara melalui simulasi menggunakan perangkat lunak Rhinoceros dan Urban Modeling Interfaces. Hasil simulasi menunjukkan nilai Floor Area Ratio sebesar 0,02 dengan rata-rata konsumsi energi operasional 173 kWh/m²/tahun, yang masih memenuhi standar keberlanjutan ASEAN-USAID. Total kebutuhan energi listrik mencapai 4.323.719,87 kWh/tahun, dengan beban terbesar berasal dari sistem pendingin sebesar 47,82%. Analisis pencahayaan alami, emisi karbon, dan mobilitas menunjukkan bahwa kawasan pengembangan masih berada dalam batas aman dan berkelanjutan.



Corresponding Author:

Isra' Nuur Darmawan,
Program Studi Teknik Elektro,
Universitas Wijayakusuma Purwokerto,
Jalan Beji Karangsalam, Kedungbanteng, Banyumas, Jawa Tengah, 53512, Indonesia.
Email: isra.nuur.darmawan@unwiku.ac.id

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan sarana transportasi merupakan implikasi langsung dari meningkatnya mobilitas penduduk dan aktivitas ekonomi pada era modern. Perbedaan lokasi tempat tinggal antardaerah menjadikan transportasi, khususnya transportasi udara, sebagai kebutuhan strategis yang tidak terpisahkan dari kehidupan masyarakat. Transportasi udara memiliki peran penting dalam mempercepat pergerakan manusia dan distribusi barang, serta menjadi penggerak utama dalam pembangunan wilayah dan pertumbuhan ekonomi nasional. Di Indonesia, sistem transportasi udara terus mengalami peningkatan peran, sejalan dengan tingginya minat masyarakat dalam menggunakan moda transportasi ini dan keberadaan ratusan bandar udara aktif yang melayani pergerakan penumpang dan logistik [3], [9], [10], [15].

Salah satu bandar udara yang tengah mengalami proses pengembangan adalah Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga. Bandar udara ini pada awalnya merupakan pangkalan udara milik TNI Angkatan Udara dengan fasilitas terbatas dan konstruksi yang belum sepenuhnya permanen. Seiring dengan perubahan status menjadi bandara komersial, diperlukan pengembangan infrastruktur secara bertahap guna meningkatkan kapasitas pelayanan dan mendukung operasional penerbangan yang optimal. Pengembangan bandar udara harus dilakukan secara terencana, terkoordinasi, dan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan lingkungan [9], [10], [15].

Salah satu aspek penting dalam pengembangan bandar udara adalah perencanaan kebutuhan energi listrik. Energi listrik merupakan elemen vital dalam menunjang keselamatan, keamanan, dan kelancaran operasional bandar udara, terutama untuk mendukung sistem mekanikal dan elektrik yang semakin kompleks.

Oleh karena itu, diperlukan prakiraan kebutuhan energi listrik yang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan energi. Pendekatan simulasi berbasis pemodelan kawasan menggunakan perangkat lunak Rhinoceros 7 dan Urban Modeling Interfaces (UMI) menjadi metode yang relevan untuk mengkaji kebutuhan energi listrik, emisi karbon dioksida, rasio luas bangunan (Floor Area Ratio), pencahayaan alami, serta mobilitas antarbangunan pada kawasan pengembangan bandar udara [3], [15].

Penelitian ini difokuskan pada analisis kebutuhan energi listrik dan besaran emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga melalui metode simulasi. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai Floor Area Ratio kawasan pengembangan, menghitung kebutuhan energi listrik, menganalisis emisi CO₂, serta mengevaluasi tingkat mobilitas antarbangunan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara akademis maupun praktis, khususnya sebagai referensi dalam penggunaan perangkat lunak pemodelan kawasan serta sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pengembangan bandar udara yang efisien, aman, dan berkelanjutan [1], [5], [6], [16], [18], [20].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini mengangkat topik analisis kebutuhan energi listrik pada pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga dengan memanfaatkan perangkat lunak Urban Modeling Interfaces. Proses pengumpulan data dilakukan melalui instansi pengelola, yaitu PT Angkasa Pura II Kantor Cabang Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga, yang berlangsung pada periode 18 Mei hingga 4 Juli 2022. Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis melalui tahapan simulasi untuk menghasilkan estimasi kebutuhan energi listrik serta parameter pendukung lainnya pada kawasan pengembangan bandar udara.

2.2. Alat Penelitian

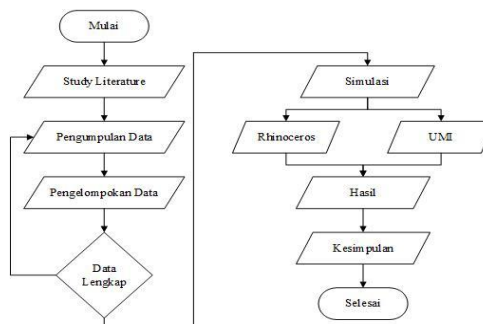
Untuk mendukung proses analisis dan simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini, diperlukan sejumlah alat penelitian yang berfungsi sebagai sarana utama dalam pengumpulan, pengolahan, serta analisis data. Oleh karena itu, pada subbagian berikut akan diuraikan secara sistematis alat-alat penelitian yang digunakan beserta peran dan fungsinya dalam menunjang pencapaian tujuan penelitian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	Nootebook / Laptop	Perangkat keras yang di gunakan untuk pengolahan data dan simulasi
2	Software Rhinoceros 7.0	Perangkat lunak untuk memodelkan bangunan 3 dimensi bandar udara Jenderal Besar Soediman Purbalingga
3	Software Urban Modeling Interface (UMI) 3.0	Perangkat lunak untuk simulasi FAR, aOperational Energy, aLifea aCyclea, aMobilitya dan Daylightinga
4	Microsoft Excel	Perangkat lunak yang di gunakan sebagai pengolahan data sementara
5	Microsoft Word	Perangkat lunak yang di gunakan sebagai penyusunan hasil - hasil penelitian

2.3. Flowchart Penelitian

Untuk memperjelas tahapan dan alur pelaksanaan penelitian yang dilakukan secara sistematis, digunakan representasi visual dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). Adapun flowchart penelitian yang menggambarkan urutan kegiatan mulai dari pengumpulan data, proses simulasi, hingga analisis hasil penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.4. Pengumpulan Data

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk menetapkan landasan teoritis, metode analisis, serta variabel penelitian. Data yang digunakan terdiri atas data primer berupa hasil wawancara dengan teknisi dan pengelola Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga, serta data sekunder yang mencakup masterplan bandar udara, luas lahan dan bangunan pengembangan, konsumsi energi listrik, dan data iklim yang diperoleh dari PT Angkasa Pura II dan BMKG.

2.5. Analisis Menggunakan Rhinoceros 7 dengan Plugin UMI 3.0

Tahap analisis dilaksanakan setelah seluruh data yang diperlukan berhasil dikumpulkan. Data tersebut selanjutnya diklasifikasikan dan diolah melalui proses simulasi menggunakan perangkat lunak Rhinoceros 7 yang terintegrasi dengan plugin Urban Modeling Interfaces (UMI) versi 3.0. Proses simulasi ini digunakan untuk menganalisis berbagai parameter yang menjadi fokus penelitian, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Simulasi

3. HASIL DAN ANALISIS

Sebagai dasar dalam melakukan analisis lebih lanjut, diperlukan pemahaman awal mengenai kondisi eksisting kawasan penelitian serta karakteristik bangunan yang menjadi objek pengembangan. Oleh karena itu, subbab ini menguraikan data eksisting kawasan dan luasan bangunan pengembangan pada Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga.

3.1. Data Eksisting dan Luas Bangunan Pengembangan

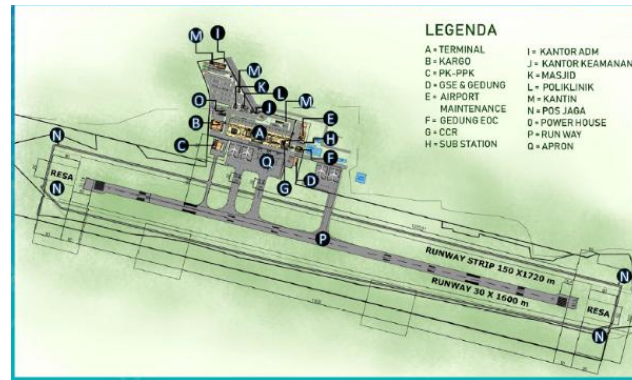
Kawasan penelitian berada di area pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga seluas $\pm 1.150.000 \text{ m}^2$ (115 hektar) di Desa Wirasaba, Kecamatan Bukateja, Kabupaten Purbalingga. Kondisi eksisting menunjukkan masih adanya bangunan nonpermanen, sehingga diperlukan pengembangan lanjutan, dengan objek pengembangan dan luasan bangunan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas Gedung Pengembangan

No	Nama Bangunan	Luas M^2
1	Bangunan Terminal	9.074,76
2	Bangunan Terminal Kargo	1.264,72
3	Bangunan PK-PPK	787,72
4	GSE & Gedung	386,12
5	Bangunan <i>Airport Maintenance</i>	456,47
6	Bangunan EOC	313,42
7	Bangunan CCR & <i>Sub Station</i>	143,5
8	Bangunan <i>Power House</i>	216,67
9	Bangunan Administrasi	616,12
10	Bangunan Keamanan	52,29
11	Masjid	165,5
12	Bangunan Poliklinik	87,36
13	Pos Jaga	9,92
14	Kantin Area Parkir Bus	150
15	Kantin Area Parkir Mobil	75,60
16	Kantin Area Kantor Administrasi	81,74

3.2. Data Masterplan

Perencanaan Tata Letak dan Penataan Fasilitas pada Pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga, sebagaimana ditunjukkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Masterplan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga

3.3. Data Konsumsi Energi Listrik

Data kebutuhan energi listrik Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga pada periode Juni 2021 hingga Juni 2022 disajikan pada Tabel 3.

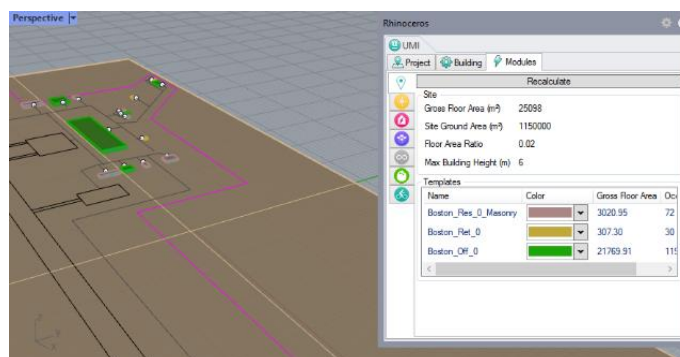
Tabel 3. Konsumsi Daya Periode Juni 2021 – Mei 2022

No	Bulan	Tahun	Total (KWh)
1	Juni	2021	220.770
2	Juli	2021	145.390
3	Agustus	2021	50.410
4	September	2021	64.210
5	Oktober	2021	74.780
6	November	2021	82.280
7	Desember	2021	109.400
8	Januari	2022	109.400
9	Februari	2022	75.660
10	Maret	2022	68.300
11	April	2022	82.030
12	Mei	2022	83.600
Total			1.166.230

3.3. Hasil Simulasi dan Pembahasan

1. Floor Area Ratio (FAR)

Kawasan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga memiliki nilai *Floor Area Ratio* (FAR) sebesar 0,02 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2, dengan total luas lahan mencapai 1.150.000 m² atau setara dengan 115 hektar. Nilai FAR pada kondisi eksisting tersebut tergolong rendah, yang mengindikasikan bahwa tingkat kepadatan bangunan di kawasan bandar udara relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa proporsi ruang terbuka masih lebih dominan dibandingkan dengan total luas bangunan yang ada sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Floor Area Ratio

2. Daylighting

Hasil Analisis pencahayaan alami dilakukan menggunakan parameter Spatial Daylight Autonomy (sDA) dan Continuous Daylight Autonomy (cDA), di mana kriteria sDA dinyatakan terpenuhi apabila minimal 55% area ruang memperoleh pencahayaan alami yang memadai selama jam operasional. Hasil simulasi UMI menunjukkan bahwa Gedung Kantor Administrasi Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga memiliki nilai sDA sebesar 71% dan cDA sebesar 86%, sehingga telah memenuhi standar minimum Illuminating Engineering Society (IES). Rekapitulasi hasil daylighting tiap gedung disajikan pada Tabel 4.

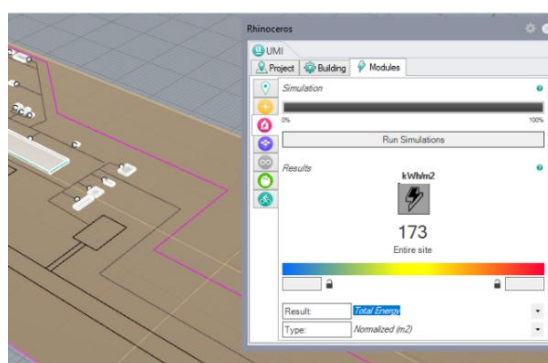
Tabel 4. Hasil Simulasi *daylighting* masing - masing gedung

No	Nama Bangunan	sDA	cDA
1	Bangunan Terminal	26 %	37%
2	Bangunan Terminal Kargo	46 %	64%
3	Bangunan PK-PPK	51 %	75%
4	GSE & Gedung	100 %	92%
5	Bangunan <i>Airport Maintenance</i>	75 %	91%
6	Bangunan EOC	100 %	92%
7	Bangunan CCR & <i>Sub Station</i>	100 %	92%
8	Bangunan <i>Power House</i>	89 %	89%
9	Bangunan Administrasi	71 %	86%
10	Bangunan Keamanan	100 %	93%
11	Masjid	100 %	93%
12	Bangunan Poliklinik	100 %	93%
13	Kantin Area Parkir Bus	100 %	92%
14	Kantin Area Parkir Mobil	100 %	93%
15	Kantin Area Kantor Administrasi	100 %	93%
16	Pos Jaga 1	100 %	93%
17	Pos Jaga 2	100 %	93%
18	Pos Jaga 3	100 %	93%
19	Pos Jaga 4	100 %	93%

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan telah memenuhi kriteria Spatial Daylight Autonomy (sDA), kecuali Terminal, Terminal Kargo, dan PK-PPK yang masih berada di bawah standar pencahayaan alami. Adapun untuk parameter Continuous Daylight Autonomy (cDA), tidak ditetapkan batas minimum sebagai acuan penilaian.

3. Operational Energy

Analisis energi operasional menggunakan UMI mencakup aspek pendinginan, pencahayaan, peralatan, dan air panas domestik dengan satuan kWh/tahun dan kWh/m²/tahun. Hasil simulasi menunjukkan rata-rata konsumsi energi kawasan pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga sebesar 173 kWh/m²/tahun, yang masih berada di bawah batas standar IKE ASEAN–USAID (1987) sebesar 240 kWh/m²/tahun, sehingga tergolong efisien dan berkelanjutan.

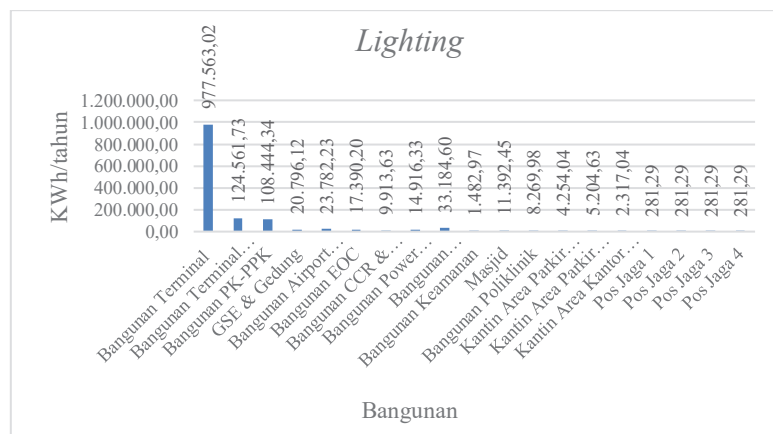


Gambar 5. Hasil Operasional Energy

Total kebutuhan energi listrik operasional pada kawasan pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga tercatat sebesar 4.323.719,87 kWh per tahun. Besaran konsumsi energi listrik bulanan pada masing-masing gedung menunjukkan variasi yang berbeda, yang dipengaruhi oleh perbedaan luasan dan karakteristik bangunan pada kawasan pengembangan tersebut. Nilai konsumsi energi listrik operasional tertinggi terjadi pada Gedung Terminal pada bulan kelima, dengan total penggunaan energi mencapai 258.870,94 kWh.

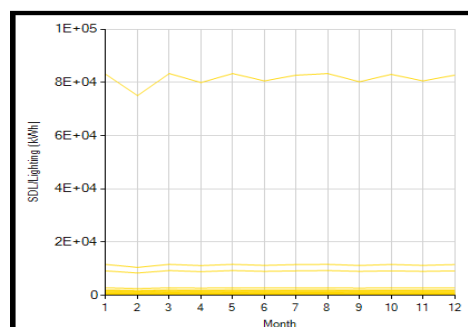
a. *Lighting*

Konsumsi energi pencahayaan berbeda antarbangunan dan dipengaruhi oleh luas, selubung, orientasi, serta rasio bukaan. Gedung Terminal sebagai bangunan terluas (9.074,76 m²) memiliki kebutuhan energi pencahayaan tertinggi, yaitu sebesar 977.563,02 kWh per tahun sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram *Lighting*

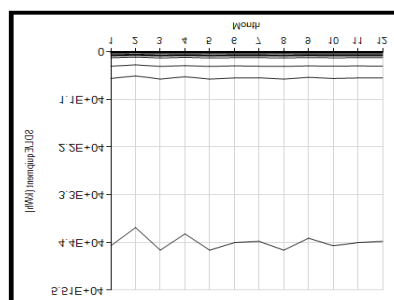
Total kebutuhan energi listrik untuk aspek pencahayaan (*lighting*) tercatat sebesar 1.364.598,47 kWh per tahun. Konsumsi energi pencahayaan tertinggi terjadi pada Gedung Terminal, sedangkan konsumsi terendah terdapat pada bangunan Pos Jaga, yang disebabkan oleh perbedaan luasan bangunan yang relatif paling kecil dibandingkan gedung lainnya. Selain itu, penggunaan energi pencahayaan tertinggi secara temporal terjadi pada bulan ketiga, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hasil simulasi *lighting*

b. *Equipment*

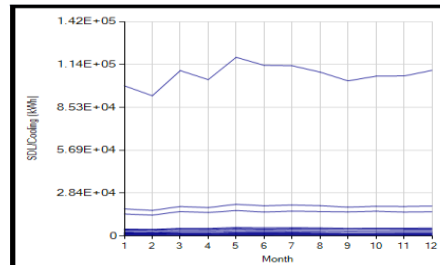
Kebutuhan energi listrik untuk peralatan (*equipment*) bergantung pada jumlah dan intensitas penggunaan perangkat elektronik. Total konsumsi energi pada aspek ini mencapai 716.335,97 kWh/tahun, dengan kebutuhan terendah terdapat pada gedung pos jaga dan tertinggi pada gedung terminal akibat tingginya jumlah peralatan. Puncak konsumsi terjadi pada bulan ke-3, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



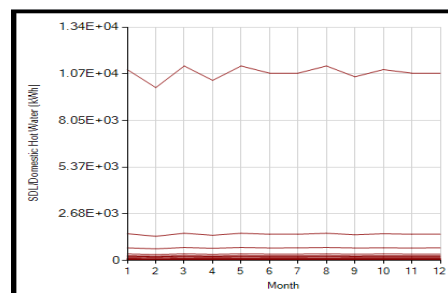
Gambar 8. Grafik Hasil Simulasi *equipment*

c. *Cooling dan Domestic Hot Energy*

Kebutuhan energi sistem pendingin dan penyediaan air panas bervariasi antarbangunan dan dipengaruhi oleh luasan serta fungsi gedung. Total konsumsi energi pendinginan kawasan pengembangan mencapai 2.067.629,92 kWh/tahun, dengan Gedung Terminal sebagai pengguna terbesar. Sementara itu, kebutuhan domestic hot water tercatat sebesar 176.194,65 kWh/tahun, dan kembali didominasi oleh Gedung Terminal. Puncak konsumsi energi pendinginan terjadi pada bulan kelima, seiring memasuki awal musim kemarau sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Grafik hasil simulasi *cooling*



Gambar 10. Grafik hasil *Domestic Hot Water Energy*

d. *Persentase Total Penggunaan Energy*

Berdasarkan hasil simulasi kebutuhan energi listrik pada kawasan pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *Urban Modeling Interface* (UMI), diperoleh total konsumsi energi listrik operasional tahunan sebesar 4.323.719,87 kWh. Nilai tersebut selanjutnya dianalisis berdasarkan kontribusi masing-masing aspek penggunaan energi, yang dinyatakan dalam bentuk persentase sebagaimana diuraikan berikut.

- Lighting* 1.364.598,47 KWh

$$\text{Lighting} = \frac{1.364.598,47}{4.323.719,87} \times 100\%$$

$$= 0,3156 \times 100\%$$

$$= 31,56 \%$$
- Equipment* 716.335,97 KWh

$$\text{Equipment} = \frac{716.335,97}{4.323.719,87} \times 100\%$$

$$= 0,1656 \times 100\%$$

$$= 16,56\%$$
- Cooling* 2.067.629,92 KWh

$$\text{Cooling} = \frac{2.067.629,92}{4.323.719,87} \times 100\%$$

$$= 0,4782 \times 100\%$$

$$= 47,82 \%$$
- Domestic Hot Water energy* 176.194,65 KWh

$$\text{DHW} = \frac{176.194,65}{4.323.719,87} \times 100\%$$

$$= 0,040 \times 100\%$$

$$= 4,0\%$$

Hasil perhitungan di atas diketahui bahwa total kebutuhan energi listrik tertinggi pada pengembangan bandar udara jenderal besar soedirman purbalingga terdapat pada aspek *cooling* dengan persentase 47,82%, Sedangkan untuk kenaikan persentase penggunaan energi listrik bandar udara jenderal besar soedirman purbalingga dari sebelum pengembangan dan setelah pengembangan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Persentase kenaikan} &= \frac{4.323.719,87 - 1.166.230}{1.166.230} \times 100\% \\ &= \frac{3.157.489,87}{1.166.230} \times 100\% \end{aligned}$$

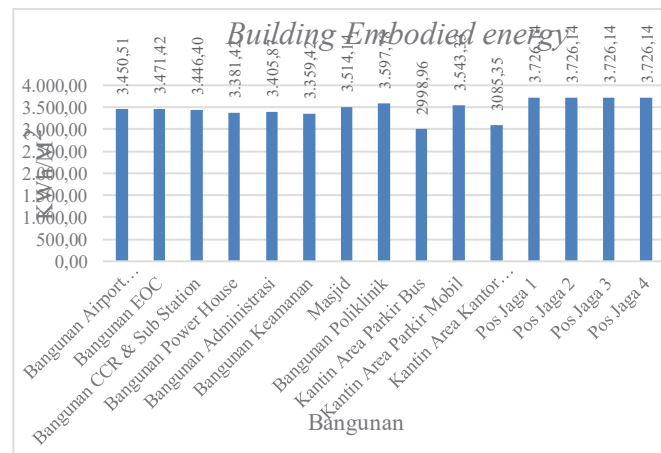
$$= 2,7074 \times 100\%$$

$$= 270,74\%$$

Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa jumlah persentase kenaikan penggunaan energi listrik pada bandar udara jenderal besar soedirman purbalingga setelah pengembangan mengalami kenaikan yang cukup tinggi dengan nilai persentase sebesar 270,74%.

4. Life Cycle

Analisis life cycle menggunakan UMI mengelompokkan dampak lingkungan bangunan ke dalam Embodied Energy (EE) dan Embodied Carbon (EC), yang masing-masing dinyatakan dalam kWh/m² dan kgCO₂, dengan asumsi umur bangunan 61 tahun. Nilai EE mencerminkan total energi pada tahap manufaktur material, distribusi, dan konstruksi, serta dibedakan menjadi building embodied energy dan façade & glazing. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai embodied energy tiap gedung di kawasan pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga bervariasi, dipengaruhi oleh luas, spesifikasi struktur, dan jenis material konstruksi yang disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram *Building Embodied Energy*

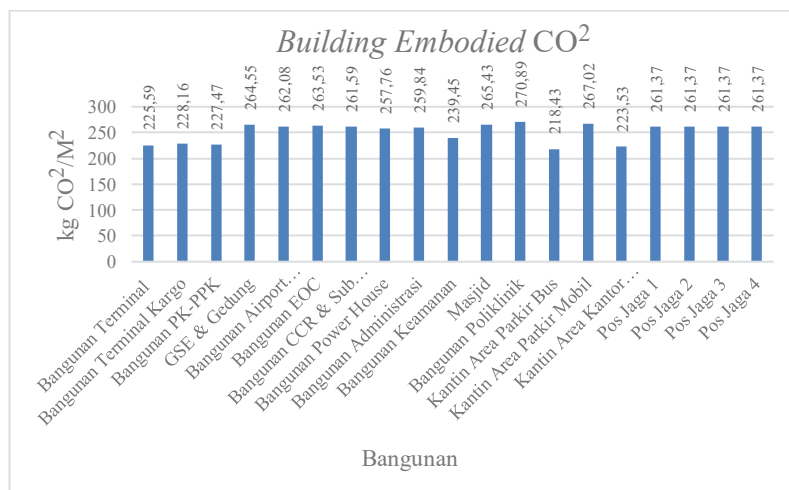
Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai embodied energy pada elemen fasad dan glazing (*façade embodied energy*) bervariasi pada setiap gedung di kawasan pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga. Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh konfigurasi selubung bangunan, proporsi bukaan, serta jenis material fasad dan kaca yang digunakan. Rincian hasil simulasi *façade and glazing embodied energy* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil *Façade & Glazing Embodied Energy*

No	Nama Bangunan	EE F (KWh/ M ²)
1	Bangunan Terminal	52,96
2	Bangunan Terminal Kargo	95,49
3	Bangunan PK-PPK	133,88
4	GSE & Gedung	258,25
5	Bangunan <i>Airport Maintenance</i>	219,84
6	Bangunan EOC	240,75
7	Bangunan CCR & <i>Sub Station</i>	279,86
8	Bangunan <i>Power House</i>	214,88
9	Bangunan Administrasi	175,2
10	Bangunan Keamanan	598,53
11	Masjid	337,48
12	Bangunan Poliklinik	367,11
13	Kantin Area Parkir Bus	258,34
14	Kantin Area Parkir Mobil	376,8
15	Kantin Area Kantor Administrasi	3.444,72
16	Pos Jaga 1	985,52
17	Pos Jaga 2	985,52
18	Pos Jaga 3	985,52
19	Pos Jaga 4	985,52

Merujuk pada kajian yang dikemukakan oleh Ding (2004), bangunan publik–komersial umumnya memiliki kandungan energi terwujud per satuan luas lantai kotor berkisar antara 3,4–19 GJ/m² atau setara dengan 944–5.277 kWh/m². Dengan mengacu pada rentang tersebut, nilai embodied energy pada kawasan pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga masih berada dalam kategori aman dari perspektif keberlanjutan.

Selanjutnya, pada analisis embodied carbon, simulasi UMI mengelompokkan hasil ke dalam dua elemen utama, yakni elemen bangunan (*building*) serta elemen selubung bangunan (*façade & glazing*). Untuk elemen building embodied CO₂, hasil simulasi memperlihatkan variasi nilai emisi karbon terwujud pada masing-masing gedung, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram *Building Embodied CO₂*

Sebagai kelanjutan dari pembahasan embodied carbon, hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai embodied CO₂ pada elemen façade dan glazing bervariasi antar gedung di kawasan pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga. Variasi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik material selubung bangunan, luas bidang fasad, serta proporsi penggunaan material kaca. Rangkuman hasil simulasi façade and glazing embodied CO₂ disajikan secara rinci pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil simulasi *Façade & Glazing Embodied CO₂*

No	Nama Bangunan	(kg CO ₂ /M ²)
1	Bangunan Terminal	2,94
2	Bangunan Terminal Kargo	5,51
3	Bangunan PK-PPK	7,61
4	GSE & Gedung	15,05
5	Bangunan <i>Airport Maintenance</i>	12,58
6	Bangunan EOC	14,03
7	Bangunan CCR & <i>Sub Station</i>	16,52
8	Bangunan <i>Power House</i>	19,69
9	Bangunan Administrasi	10,34
10	Bangunan Keamanan	34,87
11	Masjid	19,66
12	Bangunan Poliklinik	21,39
13	Kantin Area Parkir Bus	15,26
14	Kantin Area Parkir Mobil	21,95
15	Kantin Area Kantor Administrasi	20,36
16	Pos Jaga 1	58,19
17	Pos Jaga 2	58,19
18	Pos Jaga 3	58,19
19	Pos Jaga 4	58,19

Mengacu pada penelitian Luo et al. (2019), rata-rata intensitas emisi karbon per satuan luas lantai untuk bangunan perkantoran dan bangunan komersial masing-masing berada pada kisaran 533,67 kgCO₂e/m² dan 419,2 kgCO₂e/m². Dengan membandingkan nilai acuan tersebut terhadap hasil simulasi kondisi eksisting, dapat disimpulkan bahwa embodied carbon pada pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga masih berada dalam ambang batas yang dapat diterima dari perspektif keberlanjutan lingkungan.

5. Mobility

Aspek mobility pada UMI digunakan untuk menilai kemudahan pergerakan antar lokasi dalam kawasan. Hasil simulasi menunjukkan variasi mobilitas antar gedung akibat perbedaan jarak terhadap fasilitas pendukung, dengan Gedung Terminal memiliki tingkat mobilitas tertinggi, yaitu 17% pejalan kaki dan 18% pesepeda. sebagaimana dirangkum dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Simulasi *Mobility*

No	Nama Bangunan	Jalan Kaki (%)	Bersepeda (%)
1	Bangunan Terminal	17	18
2	Bangunan Terminal Kargo	1	1
3	Bangunan PK-PPK	17	18
4	GSE & Gedung	9	14
5	Bangunan <i>Airport Maintenance</i>	9	14
6	Bangunan EOC	1	1
7	Bangunan CCR & <i>Sub Station</i>	1	1
8	Bangunan <i>Power House</i>	17	18
9	Bangunan Administrasi	16	18
10	Bangunan Keamanan	8	8
11	Masjid	8	8
12	Bangunan Poliklinik	1	1
13	Kantin Area Parkir Bus	3	3
14	Kantin Area Parkir Mobil	3	3
15	Kantin Area Kantor Administrasi	16	18
16	Pos Jaga 1	1	1
17	Pos Jaga 2	1	1
18	Pos Jaga 3	3	15
19	Pos Jaga 4	2	15

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi kebutuhan energi listrik pada pengembangan Bandar Udara Jenderal Besar Soedirman Purbalingga menggunakan Urban Modeling Interfaces, diperoleh beberapa kesimpulan utama yang disajikan secara sistematis sebagai berikut:

- Dari aspek tata guna lahan, hasil simulasi menunjukkan bahwa kawasan pengembangan memiliki Site Floor Area Ratio (FAR) sebesar 0,02 pada total luas lahan 1.150.000 m². Nilai FAR ini tergolong rendah, yang mengindikasikan bahwa tingkat kepadatan bangunan masih relatif kecil dan proporsi ruang terbuka lebih dominan dibandingkan luas bangunan terbangun.
- Ditinjau dari kebutuhan energi listrik, total konsumsi energi operasional kawasan pengembangan mencapai 4.323.719,87 kWh per tahun. Dari seluruh komponen energi, sistem pendingin (cooling) merupakan kontributor terbesar dengan persentase 47,82%, sehingga menjadi aspek yang paling signifikan dalam konsumsi energi listrik.
- Berkaitan dengan dampak lingkungan, besaran emisi CO₂ dipengaruhi oleh jenis material bangunan serta luas bangunan per satuan meter persegi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai emisi CO₂ tertinggi terdapat pada Gedung Poliklinik, yaitu sebesar 270,89 kgCO₂/m², namun nilai tersebut masih berada dalam kategori aman dan berkelanjutan.
- Pada aspek mobilitas kawasan, setiap gedung memiliki tingkat mobilitas yang berbeda akibat variasi jarak terhadap fasilitas pendukung. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa Gedung Terminal memiliki tingkat mobilitas tertinggi, dengan proporsi 17% pergerakan pejalan kaki dan 18% pengguna sepeda, yang mencerminkan aksesibilitas kawasan yang relatif baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Yilmaz, K. Hasirci, B. Gündüz, and A. Burak, "Advanced composite wing design for next-generation military UAVs : A progressive numerical optimization framework," *Def. Technol.*, vol. 48, pp. 141–155, 2025, doi: 10.1016/j.dt.2025.02.020.
- [2] A. D. Sasongko, R. Rafif, and P. T. Tanpa, "ANALISIS NUMERIK BADAN PESAWAT SEJENIS Abstrak," vol. 1, no. 1, pp. 15–26, 2022.
- [3] H. F. Audrenata *et al.*, "KEPUASAN PENGGUNA JASA EMPU PT ANGKASA PURA," vol. 25, no. 2, pp. 149–158, 2025.
- [4] I. Journal and I. E. Applications, "UÇAN KANAT TİPİ İHA ' LARDA KULLANILAN KANAT PROFİLLERİNİN AERODİNAMİK," vol. 7, no. 1, 2023.
- [5] B. A. Warsiyanto, M. H. Widanto, and S. Fairuza, "Aerodynamic Performance Degradation in UAV Wings Due to Bird Strike : A Finite Element and CFD Study," vol. 10, no. 1, pp. 11–20, 2025.

- [6] D. Hartini, B. Junaidin, and T. Dirgantara, "STRENGTH ANALYSIS OF CARGO-X UAV WING STRUCTURE," pp. 1–7.
- [7] D. W. Santoso, K. Hariyanto, and T. Dirgantara, "COMPARISON OF SANDWICH COMPOSITE WING STRUCTURE WITH Balsa Wood (CASE STUDY OF UAV AIRCRAFT FIXED WING VTOL VX-2)," 2017.
- [8] A. Prakoso, A. Pambekti, C. S. Budiono, I. Lukito, and R. Kurniawan, "Perancangan dan Analisis Karakteristik Aerodinamik Pada Pesawat Fix Wing VTOL UAV," vol. 9503, pp. 1–10, 2023.
- [9] A. A. Meo, I. Priyahapsara, P. Studi, T. Dirgantara, P. Studi, and T. Industri, "Analisis kualitas pelayanan terhadap kepuasan dan loyalitas pengguna jasa kargo di bandara internasional i gusti ngurah rai," no. april 2019, 2021.
- [10] N. Awat, H. M. Nur, and D. Widagdo, "The Influence of Kargo Terminal Service Quality on Service User Satisfaction at Sultan Babullah Ternate Airport Pengaruh Kualitas Pelayanan Terminal Kargo Terhadap Kepuasan Pengguna Jasa di Bandar Udara Sultan Babullah Ternate," vol. 2, no. 4, pp. 1739–1752, 2022.
- [11] A. Bintoro, J. R. Lapan, and B. Indonesia, "LENDUTAN STRUKTUR TWIN BOOM PESAWAT TERBANG NIR AWAK LSU-05 PADA SAAT MENERIMA BEBAN TERBANG (DEFLECTION OF LSU-05 UAV TWIN BOOM STRUCTURE ON RECIEVING THE FLIGHT LOAD)," pp. 91–102, 2016.
- [12] A. A. Azmi, P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, U. M. Yogyakarta, and K. Bantul, "Perancangan Sistem Autonomus pada Pesawat Model UAV Jenis Glider," vol. 3, no. 1, pp. 28–35, 2019.
- [13] D. Konseptual and W. Loading, "Desain Konseptual UAV Long Endurance Low Altitude (LELA) untuk Misi Pengawasan Jarak Jauh," vol. 11, no. 1, 2025.
- [14] A. R. Akbar and A. L. I. Imron, "Penerbangan Otomatis Pesawat Tanpa Awak Sayap Tetap Menggunakan Flight Controller Berbasis iNav Automatic Flight of Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle Using Flight Controller Based on iNav," vol. 9, pp. 90–100.
- [15] D. E. Victoria, "Analisis Kepuasan Penumpang Terhadap Kualitas Pelayanan Unit Informasi Di Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya," no. 3, pp. 1–18, 2024.
- [16] A. Parwez, S. Singh, and R. Choudri, "Structural Analysis of Drone Wings Using," no. January, 2026.
- [17] O. F. Uav, I. Panagiotopoulos, L. Sakellariou, and A. Hatziefremidis, "Design , Construction , and Flight Performance of an Electrically," pp. 1–22, 2024.
- [18] P. T. Penerbangan, F. T. Kedirgantaraan, and U. D. Marsekal, "Analisis Kekuatan Sturktur Sayap Pesawat UAV Jatayu-01 Dengan Variasi Ketebalan," pp. 127–138.
- [19] H. Shin, "Parametric Study on Formation Flying Effectiveness for a Blended-Wing UAV," pp. 179–191, 2019.
- [20] D. Singha, "Dynamic and aeroelastic analysis of UAV wing with moving force , moving moment and moving torque," 2025.