

Artikel

Evaluasi Peluang Penghematan Energi Menggunakan Metode Analisis Beban Pendinginan Pada Area Ruang Tunggu Gate 4 di Bandar Udara Pattimura Ambon

Rae Arun Sugara^{1*}

¹ Program Studi Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

* Corresponding author. E-mail address: r.a.sugara@gmail.com

Abstrak: Kebutuhan akan energi keberlanjutan di Bandar Udara yang semakin tinggi memacu pihak otoritas di bidang teknik Bandar Udara untuk berpikir masalah konservasi energi, yaitu kegiatan yang bertujuan untuk melindungi peralatan pendukung operasional, dengan cara melakukan efisiensi konsumsi energi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat peluang penghematan penggunaan energi di ruang tunggu Gate 4 Bandar Udara Pattimura Ambon. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan analisis beban pendinginan yang didasarkan pada standar ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*). Setelah dilakukan analisis beban pendinginan, diperoleh peluang penghematan konsumsi energi sebesar 44.852 kWh/tahun, atau dapat menghemat biaya sebesar Rp.74.005.800,-/tahun. Penghematan biaya konsumsi energi tersebut dapat diperoleh dengan melakukan investasi, berupa penggantian jenis kaca *single glass* menjadi *double glass*.

Kata Kunci: Energi keberlanjutan; Konservasi energi; Analisis beban pendinginan; Peluang penghematan konsumsi energi

1. Pendahuluan

Bandar Udara menurut Undang – Undang Nomor 1 tahun 2009 tentang Penerbangan, diartikan sebagai kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya. Sementara itu, terminal bandar udara merupakan sebuah bangunan di bandar udara dan sebagai tempat penumpang berpindah antara transportasi darat dan fasilitas yang memungkinkan para penumpang naik ke dan turun dari pesawat udara.

Kebutuhan penggunaan energi listrik di Bandar Udara yang semakin tinggi, terjadi seiring dengan pertumbuhan penerbangan dan pesatnya pembangunan Bandar Udara di bidang

infrastruktur, serta pengembangan teknologi. Peningkatan penggunaan listrik yang tidak disertai dengan ketepatan peruntukannya, akan berujung kepada pemborosan biaya operasional. Hal tersebut memacu pihak otoritas bidang Teknik Bandar Udara untuk berpikir mengenai konservasi energi, yaitu kegiatan yang bertujuan untuk melindungi peralatan pendukung operasional suatu proses produksi dengan cara melakukan efisiensi penggunaan energi guna menghindari terjadinya pemborosan energi.

Injourney Airports® sebagai perusahaan yang bergerak di bidang kebandarudaraan tidak lepas dari aktifitas konservasi energi, dengan tetap berpegang kepada pemenuhan aspek 3S+1C yaitu *Safety, Security, Service*, dan *Compliance*. Salah satu regulasi yang telah ditetapkan oleh Menteri Perhubungan Republik Indonesia adalah PM 41 Tahun 2023 Tentang Pelayanan Jasa Kebandarudaraan di Bandar Udara. Peraturan tersebut mengatur sebuah standar mengenai suhu udara di *check-in area*,

ruang tunggu keberangkatan, dan area pengambilan bagasi ditentukan sebesar $\leq 25^{\circ}\text{C}$.

Audit energi merupakan langkah awal dalam kegiatan konservasi energi. Sasongko Pramono, (2005) menyatakan bahwa Potensi konservasi energi di semua sektor memiliki peluang penghematan sangat besar, yaitu antara 10% - 35%. Penghematan yang direalisasikan dengan cara mudah dapat mencapai 10 - 15%, sedangkan penghematan dengan investasi dapat meraih sampai 30%. Audit energi mengidentifikasi dimana saja energi dikonsumsi dan berapa banyak energi yang dikonsumsi dalam sebuah gedung maupun bangunan lainnya. Audit dalam arti luas bermakna evaluasi. Evaluasi yang dimaksud dapat diartikan evaluasi terhadap suatu organisasi, sistem, proses, atau produk. Audit energi dilaksanakan oleh pihak yang kompeten, objektif, dan tidak memihak, yang disebut auditor.

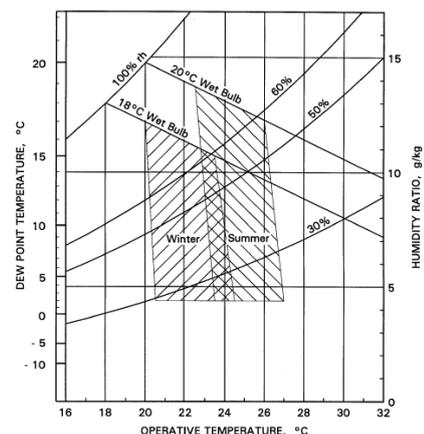
Isna Habibie Prabowo, (2015) melakukan penelitian dengan menghitung total beban pendinginan untuk ruang kelas dan administrasi di jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Total beban pendinginan dibandingkan dengan kapasitas AC (*Air Conditioner*) terpasang pada seluruh ruangan, sehingga dapat diketahui kenyamanan, peluang penghematan, serta rekomendasi. Hasil penelitian merekomendasikan untuk melakukan penggantian jenis *refrigerant*, sehingga diperoleh peluang penghematan sebesar Rp. 41.035.869,49,- per tahun. Sedangkan rekomendasi untuk melakukan penggantian tipe kaca *single glass* menjadi tipe *double glass* dengan tirai, dapat memperoleh peluang penghematan penggunaan energi sebesar 30.094,33 Btu/hr. Taufik Hidayat, (2015) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui konsumsi energi Listrik yang tepat untuk tiap ruang kelas di Fakultas Ekonomi Universitas Tanjungpura. Hasil penelitian memberikan rekomendasi investasi penggantian jenis AC dengan teknologi *inverter* dan kapasitas pendinginan yang sesuai dengan kebutuhan ruang kelas Fakultas Ekonomi UNTAN agar diperoleh penghematan konsumsi energi. Periode pengembalian investasi adalah selama 2 tahun 3 bulan, dengan nilai *Break Even Point* (BEP) total adalah sebesar Rp.1.306.198.898,-. Eko Suryo Sunarwanto, (2020) juga melakukan penelitian untuk mengetahui kebutuhan energi pada bangunan gedung. Hasil penelitian menemukan peluang penghematan energi dengan memberikan rekomendasi penggunaan lampu hemat daya, dan penggunaan AC dengan

teknologi *inverter*. Rekomendasi tersebut dapat menghasilkan penghematan konsumsi energi sebesar 6.904,32 kWh/bulan. Penghematan konsumsi energi tersebut berdampak kepada penghematan biaya sebesar Rp. 76.327.850,-

Aktivitas berkumpul dan menunggu penumpang untuk naik ke pesawat udara di ruang tunggu keberangkatan merupakan salah satu alasan penting diterapkannya konservasi energi. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan dengan menyusun perhitungan beban pendinginan aktual di area ruang tunggu Gate 4 Bandar Udara Pattimura Ambon. Setelah diperoleh total beban pendinginan aktual, analisis beban pendinginan dilakukan agar dapat diketahui faktor penyumbang beban pendinginan terbesar. Langkah akhir adalah dilakukan evaluasi agar diperoleh peluang penghematan energi di ruang tunggu Gate 4.

1.1 Teori Pengondisian Udara

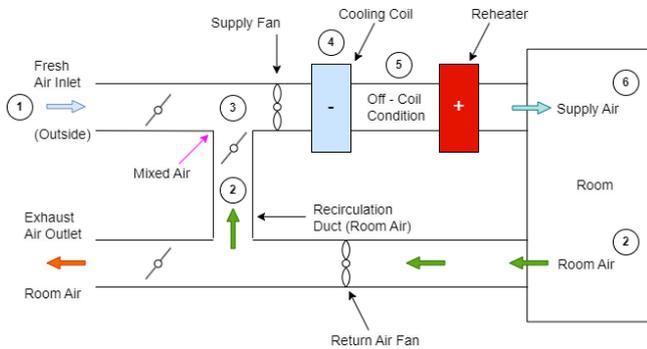
Sistem pengondisian udara adalah suatu sistem yang mengendalikan kondisi termal udara. Sistem pengondisian udara meliputi temperatur, kelembaban, aliran udara, dan kebersihan udara dari suatu ruangan sehingga tercapai kondisi yang diinginkan oleh penghuni yakni kondisi nyaman (*comfort*). Kondisi udara di dalam ruangan untuk perencanaan dipilih sesuai dengan fungsi dan persyaratan penggunaan ruangan yang dimuat dalam standar. Apabila tidak ditentukan dalam standar, secara umum harus digunakan kondisi perencanaan dengan temperatur bola kering $22,8^{\circ}\text{C} - 24,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif 50 - 60% untuk kenyamanan penghuni sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1. Kondisi udara di luar untuk perencanaan harus sesuai standar yang berlaku, atau digunakan kondisi udara luar dalam standar lain yang disepakati oleh masyarakat profesi tata udara dan refrigerasi.



Gambar 1. ASHRAE *comfort zone* (sumber: ASHRAE *Fundamental* 2004)

1.2 Proses Pengondisian Udara

Proses pengondisian udara adalah proses pemindahan panas dari atau ke suatu ruangan sehingga temperatur dan kelembaban udara yang diinginkan dapat dicapai. Dimana dengan mengondisikan udara tersebut, akan dicapai sebuah kenyamanan bagi pengguna ruangan.



Gambar 2. Model Sistem Pengondisian Udara

Proses pengondisian udara dari Gambar 2 adalah udara segar (*fresh air*) (1) yang dicampurkan dengan udara keluar (*return air*) (2) dari ruangan sehingga menjadi udara campuran (*mixed air*) (3). Udara dari ruangan sebagian dikeluarkan (*exhaust air*) dan sebagian lagi dikembalikan untuk dicampurkan dengan udara segar (*fresh air*) (1). Udara campuran akan dihembuskan oleh *supply fan* agar melewati *cooling coil* (4) untuk memperoleh pendinginan yang sesuai dengan pengaturan sebelum udara nyaman masuk dan dinikmati oleh pengguna ruang. Pada beberapa jenis sistem pengondisian udara atau di negara yang terdapat musim dingin, sistem pengondisian udara memiliki *reheater* sebagai penghangat udara untuk menyesuaikan kembali temperatur dan kelembaban udara sebelum masuk ke ruangan. Siklus pengondisian udara tersebut berlangsung terus menerus demi kenyamanan penghuni di dalam ruangan. Dari proses pengondisian sederhana diatas dapat disimpulkan bahwa, di dalam proses pengondisian udara bukan hanya terdapat proses pendinginan, tetapi juga proses untuk pencapaian temperatur yang dapat menimbulkan rasa nyaman bagi pengguna ruangan.

1.3 Beban Pendinginan

Secara garis besar, beban pendinginan diklasifikasikan menjadi dua, yaitu beban kalor yang bersumber dari dalam ruangan itu sendiri (beban internal) dan beban kalor yang masuk dari luar ruangan ke dalam ruangan (beban eksternal).

1.3.1 Beban Penerangan

Beban penerangan merupakan jenis beban kalor internal, dimana jumlah perolehan kalor yang disebabkan oleh penerangan tergantung pada daya dan jenis pemasangannya. Energi radiasi dari lampu mula-mula akan diserap oleh lantai, dan peralatan-peralatan didalam ruangan hingga temperatur ruang meningkat dengan laju yang ditentukan oleh massanya. Oleh karena temperatur permukaan benda-benda tersebut meningkat diatas temperatur udara, maka kalor tersebut dikonveksikan sehingga akhirnya menjadi beban bagi sistem pendinginan. Berikut merupakan rumusan untuk perhitungan beban penerangan:

$$Q = 3,41 \times q_i \times F_u \times F_s \times CLF \quad (1)$$

Dimana:

Q = Sensibel cooling load (Btu/hr)

3,41 = Faktor konversi (BTU/hr) dari (watt)

q_i = Total daya lampu (watt)

F_u = Fraksi lampu yang terpasang

F_s = Faktor Balast,

$F_s = 1,2$ (untuk *fluorescent* biasa)

$F_s = 1.0$ (untuk *incandescent*)

CLF = Faktor beban pendinginan untuk lampu

CLF = 1 (dengan kepadatan tinggi atau 24 jam operasi kerja)

1.3.2 Beban Penghuni

Beban penghuni merupakan beban pendinginan internal yang disebabkan adanya *heat gain* yang dihasilkan oleh tubuh manusia. Hal tersebut dapat dilihat dari berapa banyak penghuni ruangan, total jam, dan kegiatan yang dilakukan oleh penghuni. Besaran beban penghuni dapat diperoleh melalui persamaan:

$$Q_s = q_s / \text{person} \times n \times CLF \quad (2)$$

$$Q_l = q_l / \text{person} \times n \times CLF \quad (3)$$

Dimana:

Q_s, Q_l = Total panas sensibel dan laten manusia (BTU/hr)

q_s / person = Panas sensibel / orang

q_l / person = Panas laten / orang

n = Banyaknya manusia

CLF = Faktor beban pendinginan untuk manusia

CLF = 1 (Dengan kepadatan tinggi atau 24 jam operasional)

Nilai q_s dan q_l diperoleh dari ASHRAE-HANDBOOK-1997 *Fundamental* pada tabel ASHRAE 4.5.

1.3.3 Beban Peralatan

Beban peralatan merupakan beban pendinginan yang diperhitungkan akibat kalor yang dihasilkan oleh peralatan-peralatan yang berada di dalam ruangan.

1.3.4 Beban Transmisi Melalui Kaca, Dinding, dan Atap

Beban transmisi adalah beban pendinginan eksternal yang diakibatkan oleh perpindahan panas konduksi yang mengalir dari luar ruangan ke dalam ruangan, melalui kaca, dinding bagian luar, dan atap. Untuk memperoleh nilai beban transmisi melalui kaca, dinding, dan atap, digunakan persamaan berikut:

$$Q = U \times A \times CLTDc \quad (4)$$

Dimana:

Q = Beban Transmisi melalui kaca, dinding, dan atap (BTU/hr)

U = Overall heat transfer coefficient (BTU/hr.ft².°F)

A = Luasan bidang (ft²)

CLTDc = Cooling Load Temperature Difference Correction (°F)

CLTDc dihitung menggunakan koreksi pada persamaan sebagai berikut:

CLTDc Kaca:

$$CLTDc = CLTD + (78-t_R) + (t_o-85) \quad (5)$$

CLTDc Dinding:

$$CLTDc = \{(CLTD+LM) \times K + (78-t_R) + (t_o-85)\} \quad (6)$$

CLTDc Atap:

$$CLTDc = \{(CLTD+LM) \times K + (78-t_R) + (t_o-85)\} \times f \quad (7)$$

Dimana:

CLTD = Perbedaan temperatur pendinginan (°F)

Nilai CLTD diperoleh dari ASHRAE-HANDBOOK-1997 *Fundamental* dengan ketentuan:

- o CLTD Atap dapat menggunakan nilai dari tabel 3.8
- o CLTD Dinding dapat menggunakan nilai dari tabel 3.10
- o CLTD Kaca dapat menggunakan nilai dari tabel 3.23

LM = Faktor koreksi (*Latitude Month*)

Nilai LM diperoleh dari Tabel 3.12 ASHRAE-HANDBOOK-1997 *Fundamental*

K = Faktor penyesuaian warna dinding dan atap

K = 1 untuk warna dinding atau atap gelap, atau daerah industri

K = 0,83 untuk warna atap cerah

K = 0,65 untuk warna dinding cerah

t_R = Temperatur udara ruang rancangan (°F)

f = Koreksi untuk *ceiling ventilation*

f = 0,75 untuk *attic fan*

f = 1 untuk yang lainnya

t_o = Suhu udara luar yang dihitung menggunakan persamaan:

$$t_o = \left\{ \text{design outside temperature} - \left(\frac{\text{daily range}}{2} \right) \right\} \text{ (°F)}$$

daily range = Temperatur harian rata-rata (°F)

1.3.5 Beban Radiasi Melalui Kaca

Beban radiasi merupakan beban pendinginan eksternal yang diperoleh akibat penjaralan energi matahari melalui komponen bangunan yang tembus pandang, atau penyerapan oleh komponen bangunan yang tidak tembus cahaya (*opaque building component*). Beban radiasi kaca dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF \quad (8)$$

Dimana:

Q = Beban Radiasi melalui kaca (BTU/hr)

SHGF = Faktor panas matahari (BTU/(hr.ft²))

A = Luasan kaca (ft²)

SC = Koefisien bayangan

CLF = Faktor beban pendinginan untuk kaca

1.3.6 Faktor Keamanan

Faktor keamanan perlu ditambahkan pada beban pendinginan total untuk menjaga kemungkinan terjadi kesalahan dalam survey atau perakitan. Harga faktor keamanan terdapat pada standar ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) *Fundamental* tahun 1997, *chapter 28* minimal sebesar 10% dari beban total pendinginan.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bandara Pattimura Ambon dengan melakukan studi literatur dan pengamatan langsung di lapangan untuk memperoleh data yang akurat dalam perhitungan dan analisis beban pendinginan. Data primer yang dihimpun merupakan hasil pengukuran temperatur di luar dan di ruang tunggu Gate 4 Bandar Udara Pattimura Ambon.

2.1 Langkah Persiapan

Langkah awal yang dilakukan adalah mempersiapkan alat ukur, melaksanakan studi literatur, dan mempersiapkan tabel data untuk menyusun data yang akan dihimpun.

2.1.1 Peralatan

Terdapat 3 (tiga) peralatan yang digunakan untuk memperoleh data-data yang dikumpulkan dari observasi lapangan pada penelitian ini, yaitu *environmental meter*, *hygrometer*, dan *laser distance meter*.

a. Environmental Meter

Alat ukur lingkungan digunakan untuk mengukur kecepatan udara (m/s atau ft/s), *humidity* (%), *temperature* (°C atau °F), dan *relative humidity* (RH).

b. Sling Thermometer atau Sling Psychrometer (Hygrometer)

Hygrometer adalah alat untuk mengukur kandungan air pada udara dalam persentase *Relative Humidity* (%RH). *Sling psychrometers* juga disebut sebagai *whirling hygrometers*, digunakan untuk mengukur temperatur *wet bulb* (Twb) dan *dry bulb* (Tdb) yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan *relative humidity* (RH). Alat ini digunakan dengan cara diputar dengan tangan untuk memberikan ventilasi yang cukup dan konstan pada *bulbs*-nya.

c. Laser Distance Meter

Laser distance meter merupakan alat untuk mengukur jarak. Alat ini digunakan untuk melihat kesesuaian luas ruangan aktual dengan yang tertera pada gambar teknis bangunan (*as built drawing*) dari ruang tunggu *Gate 4*.

2.1.2 Studi Literatur

Studi literatur ini menggunakan buku-buku, peraturan-peraturan, dokumen standarisasi mengenai pengondisian udara, maupun gambar teknis bangunan (*as built drawing*) sebagai referensi. Referensi ini diperoleh dari perusahaan maupun literatur yang berhubungan dengan pengondisian udara.

2.1.3 Survei Lapangan

Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi nyata instalasi serta jenis peralatan yang digunakan. Pengukuran aktual ukuran ruangan dan *properties* udara, serta temperatur luar dan dalam ruangan dilakukan untuk memperoleh data secara *real time*.

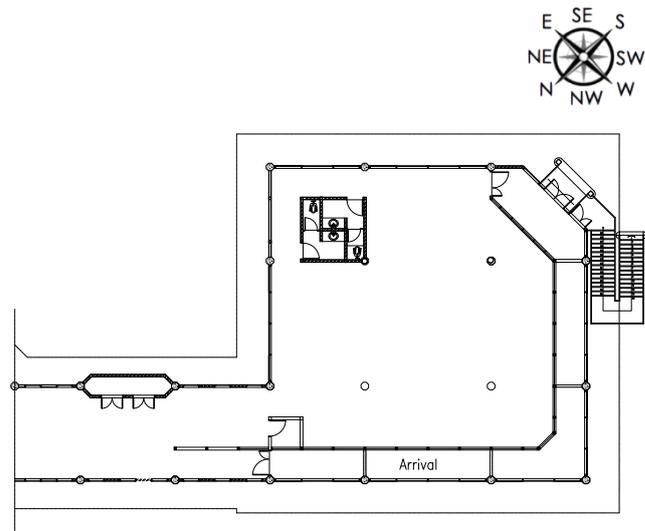
2.2 Data-data Umum

Data-data umum terkait kondisi lingkungan yang diperlukan dalam perhitungan mengacu pada standar kenyamanan ruang dan kondisi saat dilakukan pengambilan data yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Lingkungan

Uraian	Keterangan
Bulan Perencanaan	Juni 2024
Letak Geografis Ruang Tunggu Gate 4	3°42'20.9" LS dan 128°05'16.6" BT
Temperatur Ruang Rancangan	73.4 °F
RH Ruang Rancangan	50%
Temperatur luar rancangan (<i>Accuweather</i>)	88 °F
RH luar rancangan (BMKG)	70%

Dalam melakukan perhitungan beban pendinginan diperlukan data dimensi dari ruang tunggu *Gate 4* untuk mengetahui luas area, luas dan jenis dinding, luas dan jenis kaca, serta dibutuhkan data temperatur lingkungan, *relative humidity*, peralatan elektronik dan elektrik, serta jumlah penghuni/pengunjung. Denah ruang tunggu *Gate 4* ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Denah ruang tunggu *Gate 4* di Bandar Udara Pattimura Ambon

2.3 Perhitungan Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*). Perhitungan tersebut menggunakan

acuan pada standar *Cooling and Heating Load Calculation Manual by ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)* 1997. Standar *Cooling and Heating Load Calculation Manual by ASHRAE* merumuskan formula untuk dapat digunakan dengan memasukkan data-data nilai. Disamping itu, standar manual tersebut menyediakan tabel-tabel yang berisi besaran nilai konstanta atau koefisien yang digunakan di dalam formula. Besaran nilai konstanta atau koefisien yang terdapat pada tabel ASHRAE digunakan untuk lokasi yang terletak di daerah lintang utara, sedangkan lokasi ruang tunggu *Gate 4* di Bandar Udara Pattimura Ambon terletak di lintang selatan. Ketentuan yang harus dilakukan agar tabel ASHRAE dapat digunakan pada lokasi yang terletak di lintang selatan adalah dengan menambahkan 6 bulan dari bulan rancangan/penelitian. Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan pada bulan Juni 2024 sehingga nilai yang diambil pada tabel ASHRAE adalah pada bulan Desember 2024.

3 Hasil Penelitian

Perhitungan beban pendinginan dengan menggunakan metode CLTD pada ruang tunggu *Gate 4* dilakukan dalam tiga waktu yaitu pukul 09.00, pukul 15.00, dan pukul 20.00 WIT. Pemilihan perhitungan pada 3 (tiga) waktu tersebut karena jadwal keberangkatan penumpang melalui ruang tunggu *Gate 4* terdapat pada 2 waktu, yakni pukul 09.00 dan 15.00 WIT. Sedangkan perhitungan pada pukul 20.00 WIT dilakukan untuk melihat kondisi beban pendinginan di malam hari. Perhitungan beban pendinginan pada Bab 3 ini dilakukan dengan menggunakan data pada pukul 15.00 WIT.

3.1 Perhitungan Beban Pendinginan Internal

3.1.1 Beban Penerangan

Besaran beban penerangan dapat diperoleh menggunakan persamaan (1), dimana F_u merupakan fraksi lampu terpasang yang bernilai 1 dan F_s merupakan *ballast factor* untuk *fluorescent* biasa yang bernilai 1,2. Sedangkan CLF bernilai 1. Sehingga besar beban penerangan pada ruang tunggu *Gate 4* di Bandar Udara Pattimura Ambon dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= 3,41 \times q_i \times F_U \times F_S \times CLF \\
 &= 3,41 \times 640 \times 1 \times 1,2 \times 1 \\
 &= 2758,01 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

3.1.2 Beban Penghuni

Perhitungan beban penghuni didasarkan pada jumlah penumpang di ruang tunggu *Gate 4* pada pukul 15:00 WIT sebanyak 101 orang. Berdasarkan tabel ASHRAE 4.5 dengan aktifitas *seated at rest*, maka digunakan q_s sensibel, $q_s = 210 \text{ Btu/hr}$, dan q_l laten, $q_l = 140 \text{ Btu/hr}$, serta CLF bernilai 1. Besarnya *heat gain* yang dihasilkan oleh penghuni ruang tunggu *Gate 4* dapat dihitung melalui persamaan (2) dan (3) sebagai berikut:

- o Beban panas sensibel
 $Q_s = q_s / \text{person} \times \text{No. of People} \times CLF$
 $Q_s = 210 \text{ Btu/hr} \times 101 \times 1$
 $Q_s = 21.210 \text{ Btu/hr}$
- o Beban panas laten
 $Q_l = q_l / \text{person} \times \text{No. of People} \times CLF$
 $Q_l = 140 \text{ Btu/hr} \times 101 \times 1$
 $Q_l = 14.140 \text{ Btu/hr}$
- o Total Beban Penghuni
 $Q_{total} = Q_s + Q_l$
 $Q_{total} = 21.210 \text{ Btu/hr} + 14.140 \text{ Btu/hr}$
 $Q_{total} = 35.350 \text{ Btu/hr}$

3.1.3 Beban Peralatan

Pada ruang tunggu *Gate 4* terdapat beberapa peralatan yang dapat menghasilkan panas. Peralatan yang terdapat di ruang tunggu *Gate 4* adalah 3 unit TV LED, 1 unit *Personal Computer*, dan 2 unit CCTV. Besaran *heat gain* Peralatan tersebut ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Beban Peralatan Elektrik di Ruang Tunggu *Gate 4*

No	NAMA PERALATAN	JUMLAH	HG (Btu/hr)	HGT (Btu/hr)
1	TV LED	3	192,220	716,99
2	PERSONAL COMPUTER	1	35,484	
3	CCTV	2	52,424	

3.2 Perhitungan Beban Pendinginan Eksternal

Beban pendinginan eksternal merupakan beban kalor yang masuk dari luar ke dalam ruangan. Beban pendinginan eksternal pada ruang tunggu *Gate 4* di Bandar Udara Pattimura Ambon adalah beban transmisi kaca, beban radiasi matahari melalui kaca, dan beban transmisi dinding.

3.2.1 Beban Transmisi Melalui Kaca

Untuk memperoleh besaran beban transmisi melalui kaca ruang tunggu Gate 4, maka dibutuhkan nilai-nilai sebagai berikut:

- Overall Heat Transfer Coefficient (U)

Nilai U diperoleh dari tabel ASHRAE 3.14A untuk kaca *single glass with no indoor shade* yang digunakan di ruang tunggu Gate 4, yaitu $U = 1,04 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$.

- Luas Kaca (A)

Luas kaca yang tersinari matahari pada ruang tunggu Gate 4 di Bandar Udara Pattimura terletak pada sisi *North West (NW)*, *North East (NE)*, *South East (SE)*, *South (S)*, dan *South West (SW)* dengan nilai luasan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{NW} &= 718,81 \text{ ft}^2 \\ A_{NE} &= 558,49 \text{ ft}^2 \\ A_{SE} &= 521,26 \text{ ft}^2 \\ A_S &= 136,06 \text{ ft}^2 \\ A_{SW} &= 521,26 \text{ ft}^2 \\ A_{TOTAL} &= 2455,88 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

- Cooling Load Temperature Difference Correction (CLTDc)

Nilai CLTDc untuk beban transmisi melalui kaca diperoleh dari persamaan (5). Dimana, nilai CLTD = 14°F diperoleh dari tabel ASHRAE 3.23 untuk kaca pada *solar time* 15. Nilai t_R dan t_o diperoleh sebesar $73,4^\circ\text{F}$ dan 81°F . Sehingga nilai CLTDc diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{CLTDc} &= 14 + (78 - 73,4) + (81 - 85) \\ &= 14,6^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Setelah nilai U, A, dan CLTDc diperoleh, besaran beban transmisi melalui kaca pada pukul 15.00 di ruang tunggu Gate 4 di Bandar Udara Pattimura dapat dihitung melalui persamaan (4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= U \times A \times \text{CLTDc} \\ Q &= 1,04 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \times 2455,88 \text{ ft}^2 \times 14,6^\circ\text{F} \\ &= 37290,128 \text{ Btu}/\text{hr} \end{aligned}$$

3.2.2 Beban Radiasi Melalui Kaca

Untuk memperoleh besaran beban radiasi melalui kaca ruang tunggu Gate 4, dibutuhkan nilai-nilai sebagai berikut:

- Solar Heat Gain Factor (SHGF)

Nilai SHGF diperoleh dari ASHRAE pada Tabel 3.26 yang dilihat pada bulan Desember. Nilai SHGF diperoleh untuk sisi NW, NE, SE, S, dan SW adalah 30, 30, 36, 37, dan 36.

- Shading Coefficient (SC)

Berdasarkan jenis kaca yaitu *single reflective coated glass with no interior shading*, maka diperoleh nilai SC = 0.60 (Tabel ASHRAE 3.18).

- Cooling Load Factor (CLF)

Nilai CLF dapat diperoleh dari lampiran ASHRAE pada Tabel 3.27 untuk *solar time* 15, sehingga diperoleh nilai $CLF_{NW} = 0,52$; $CLF_{NE} = 0,22$; $CLF_{SE} = 0,25$; $CLF_S = 0,5$; dan $CLF_{SW} = 0,83$.

Setelah nilai SHGF, SC, dan CLF diperoleh, beban radiasi melalui kaca (Q) dapat dihitung melalui persamaan (8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= \text{SHGF} \times A \times \text{SC} \times \text{CLF} \\ Q_{NW} &= 30 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2) \times 718,81 \text{ ft}^2 \times 0,6 \times 0,52 \\ &= 6728,1 \text{ Btu}/\text{hr} \\ Q_{NE} &= 30 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2) \times 558,49 \text{ ft}^2 \times 0,6 \times 0,22 \\ &= 2211,62 \text{ Btu}/\text{hr} \\ Q_{SE} &= 36 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2) \times 521,26 \text{ ft}^2 \times 0,6 \times 0,25 \\ &= 2814,8 \text{ Btu}/\text{hr} \\ Q_S &= 37 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2) \times 136,06 \text{ ft}^2 \times 0,6 \times 0,5 \\ &= 7750,02 \text{ Btu}/\text{hr} \\ Q_{SW} &= 36 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2) \times 521,26 \text{ ft}^2 \times 0,6 \times 0,83 \\ &= 9345,15 \text{ Btu}/\text{hr} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Total } Q_{\text{radiasi}} &= Q_{NW} + Q_{NE} + Q_{SE} + Q_S + Q_{SW} \\ &= 28849,66 \text{ Btu}/\text{hr} \end{aligned}$$

3.2.3 Beban Transmisi Melalui Dinding

Untuk memperoleh besaran beban transmisi melalui dinding ruang tunggu Gate 4, dibutuhkan nilai-nilai sebagai berikut:

- Overall Heat Transfer Coefficient (U)

Nilai U diperoleh dari tabel ASHRAE 3.9 untuk konstruksi dinding yang digunakan di ruang tunggu Gate 4, yaitu $U = 0,4165 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$.

- Luas Dinding (A)

Luas dinding yang tersinari matahari pada ruang tunggu Gate 4 di Bandar Udara Pattimura terletak pada sisi *North West (NW)*, *North East (NE)*, *South East (SE)*, *South (S)*, dan *South West (SW)* dengan nilai luasan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{NW} &= 175,21 \text{ ft}^2 \\ A_{NE} &= 123,1 \text{ ft}^2 \\ A_{SE} &= 187,58 \text{ ft}^2 \\ A_S &= 53,06 \text{ ft}^2 \\ A_{SW} &= 187,58 \text{ ft}^2 \\ A_{TOTAL} &= 726,54 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

o *Cooling Load Temperature Difference Correction (CLTDc)*

Nilai CLTDc untuk beban transmisi melalui dinding diperoleh dari persamaan (6). Dimana, nilai CLTD = 12 °F diperoleh dari tabel ASHRAE 3.10 pada *solar time* 15. Nilai LM bernilai = -4 (Tabel ASHRAE 3.12), dan K = 0,65. Nilai t_R dan t_o diperoleh sebesar 73,4 °F dan 81 °F. Sehingga perhitungan nilai CLTDc adalah sebagai berikut:

$$CLTD_C = \{(CLTD+LM) \times K + (78-t_R) + (t_o-85)\}$$

$$CLTD_c = \{(12-4) \times 0,65 + (78-73,4) + (81-85)\}$$

$$= 12,8 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Setelah nilai U, A, dan CLTDc diperoleh, besaran beban transmisi melalui dinding yang menghadap *North West* pada pukul 15.00 di ruang tunggu *Gate 4* di Bandar Udara Pattimura dapat dihitung melalui persamaan (4) sebagai berikut:

$$Q_{NW} = U \times A \times CLTD_c$$

$$Q_{NW} = 0,4165 \text{ Btu}/(\text{hr. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \times 175,21 \text{ ft}^2 \times 12,8 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$= 934,08 \text{ Btu/hr}$$

3.2.4 *Beban Transmisi Melalui Atap*

Untuk memperoleh besaran beban transmisi melalui atap, dibutuhkan nilai-nilai sebagai berikut:

o *Overall Heat Transfer Coefficient (U)*
 Nilai U diperoleh dari tabel ASHRAE 3.8 untuk konstruksi atap yang digunakan di ruang tunggu *Gate 4*, yaitu $U = 0,109 \text{ Btu}/(\text{hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$.

o *Luas Atap (A)*
 Atap yang tersinari matahari pada ruang tunggu *Gate 4* di Bandar Udara Pattimura terletak pada sisi *North West (NW)*, *North East (NE)*, *South East (SE)*, *South (S)*, dan *South West (SW)* dengan nilai luasan yang sama pada masing-masing sisi atap yakni $1.060,7 \text{ ft}^2$.

o *Cooling Load Temperature Difference Correction (CLTDc)*

Nilai CLTDc untuk beban transmisi melalui atap diperoleh dari persamaan (7). Dimana, nilai CLTD = 63 °F diperoleh dari tabel ASHRAE 3.8 pada *solar time* 15. Nilai LM bernilai = -4 (Tabel ASHRAE 3.12), besaran nilai K = 1 untuk warna atap gelap, dan $f = 1,0$ untuk atap tanpa loteng/duct. Nilai t_R dan t_o diperoleh sebesar 73,4 °F dan 81 °F. Sehingga perhitungan nilai CLTDc adalah sebagai berikut:

$$CLTD_C = \{(CLTD+LM) \times K + (78-t_R) + (t_o-85)\} \times f$$

$$CLTD_c = \{(63-4) \times 1 + (78-73,4) + (81-85) \times 1$$

$$= 46 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Setelah nilai U, A, dan CLTDc diperoleh, besaran beban transmisi melalui atap yang menghadap *North West* pada pukul 15.00 di ruang tunggu *Gate 4* di Bandar Udara Pattimura dapat dihitung melalui persamaan (4) sebagai berikut :

$$Q_{NW} = U \times A \times CLTD_c$$

$$Q_{NW} = 0,109 \text{ Btu}/(\text{hr. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \times 1060,7 \text{ ft}^2 \times 46 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$= 5318,34 \text{ Btu/hr}$$

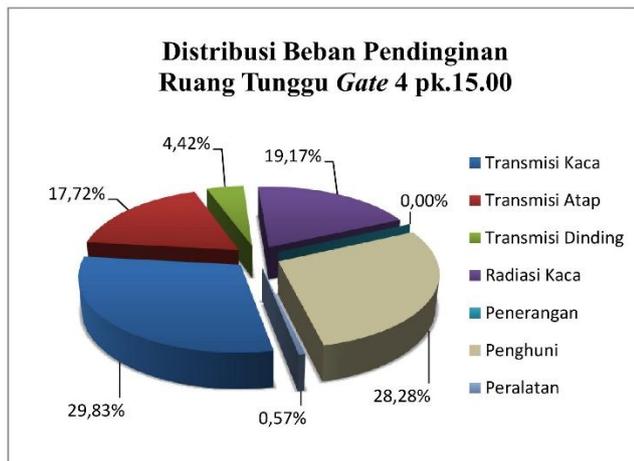
3.3 *Total Beban Pendinginan*

Total beban pendinginan pada ruang tunggu *Gate 4* adalah akumulasi dari beban pendinginan internal dan eksternal. Total beban pendinginan pada ruang tunggu *Gate 4* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Total Beban Pendinginan di Ruang Tunggu *Gate 4*

Beban Pendinginan \ Jam Penelitian	Beban Pendinginan (Btu/hr)		
	09.00	15.00	20.00
Transmisi Kaca	1.532,5	37.290,1	21.965,4
Transmisi Dinding	3.174	5.523	7.653
Transmisi Atap	4.717,2	22.152,4	14.336,6
Radiasi Kaca	21.058	23.963,1	4.736,9
Penerangan	0	0	1.990,4
Penghuni	23.100	35.350	1.400
Peralatan	716,9	716,9	716,9
Qtotall	59.728,46	137.495,1	58.079,13

Diagram distribusi setiap beban pendinginan pada ruang tunggu *Gate 4* pada pukul 15.00 WIT ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Distribusi Beban Pendinginan Ruang Tunggu Gate 4 pukul 15.00 WIT

Gambar 4 memberi informasi bahwa penghasil kalor terbesar berasal dari beban transmisi kaca, kemudian diikuti beban penghuni, radiasi kaca, dan transmisi atap. Sedangkan penghasil panas terkecil adalah beban transmisi dinding, peralatan dan beban penerangan.

3.4 Perbandingan Beban Pendinginan dengan Kapasitas Pendinginan

Ruang tunggu Gate 4 memiliki sistem pendinginan terpisah (*AC Split*). Kapasitas pendinginan yang dihasilkan adalah sebesar 225.000 Btu/hr. Setelah diperoleh hasil perhitungan total beban pendinginan internal dan eksternal, maka total beban pendinginan dapat dibandingkan dengan kapasitas pendinginan yang dimiliki AC terpasang pada ruang tunggu Gate 4. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 antara kapasitas pendinginan AC terpasang dengan total beban pendinginan yang dihasilkan di ruang tunggu Gate 4 pada pukul 15.00 WIT.

Tabel 4. Perbandingan Kapasitas Terpasang dengan Total Beban Pendinginan

Kapasitas AC Split	Jumlah (Unit)	Kapasitas Total (Btu/hr)	Total Beban Pendinginan (Btu/hr)
5 PK	5	225.000	137.495,12

Tabel perbandingan menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan sebesar 225.000 Btu/hr dapat menangani total beban pendinginan sebesar 137.495,12 Btu/hr. Disamping

perhitungan aktual, kapasitas pendinginan di ruang tunggu Gate 4 masih dapat menangani total beban pendinginan walaupun faktor keamanan sebesar 10 % ditambahkan, sehingga total beban pendinginan menjadi 151,244,6 Btu/hr.

3.5 Rekomendasi Investasi Penggantian Jenis Kaca

Setelah dilakukan perhitungan beban pendinginan, penulis melihat terdapat peluang untuk melakukan penghematan konsumsi energi sekaligus meningkatkan kenyamanan di ruang tunggu Gate 4. Penghematan konsumsi energi dan peningkatan kenyamanan ruang tersebut dapat diperoleh dengan melakukan penggantian jenis kaca *single glass* ke jenis kaca *double glass*. Penggantian jenis kaca direkomendasikan setelah diperoleh wawasan bahwa beban pendinginan yang diperoleh dari transmisi dan radiasi kaca menjadi kontributor yang signifikan terhadap total beban pendinginan yaitu 29,83% dan 19,17%. Dengan penggunaan jenis kaca *double glass*, beban pendinginan yang masuk ke dalam ruang tunggu Gate 4 melalui transmisi dan radiasi kaca dapat direduksi, sehingga berdampak kepada penghematan biaya konsumsi energi dan peningkatan kenyamanan penghuni ruang. Total penghematan beban transmisi dan radiasi kaca di konversi ke Rupiah/tahun agar dapat diketahui penghematan secara perhitungan keuangan yang diperoleh dari penggantian jenis kaca tersebut.

- o Penjumlahan total penghematan beban transmisi dalam 24 jam.

$$\begin{aligned} \text{Beban awal} &= 381.585 \text{ Btu/hr} \\ \text{Beban rekomendasi} &= 60.139 \text{ Btu/hr} \\ \text{Total Penghematan} &= \text{awal} - \text{rekomendasi} \\ &= (381.585 - 60.139) \text{ Btu/hr} \\ &= 321.446 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

- o Penjumlahan total penghematan beban radiasi dalam 24 jam.

$$\begin{aligned} \text{Beban awal} &= 294.316 \text{ Btu/hr} \\ \text{Beban rekomendasi} &= 196.369 \text{ Btu/hr} \\ \text{Total Penghematan} &= \text{awal} - \text{rekomendasi} \\ &= (294.316 - 196.369) \text{ Btu/hr} \\ &= 97.947 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

- o Konversi total penghematan beban transmisi dan radiasi ke satuan kWh/thn.

$$\begin{aligned} \text{Penghematan} &= 419.393 \text{ Btu/hr, atau} \\ \text{Penghematan} &= 44.852 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

- o Konversi kWh/tahun ke Rupiah/tahun dari hasil penghematan beban transmisi dan radiasi pada ruang tunggu Gate 4 (Rp/tahun).

Tarif dasar listrik untuk keperluan layanan khusus adalah sebesar Rp 1.650/kWh (sumber : PLN - Oktober 2024). Sehingga diperoleh penghematan/tahun adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Penghematan/tahun} &= 44.852 \times 1.650 \\ \text{Penghematan/tahun} &= \text{Rp. } 74.005.800,- \end{aligned}$$

3.6 Analisis Investasi Penggantian Jenis Kaca

Setelah diperoleh Penghematan/tahun, kemudian dilakukan analisa perbandingan antara efisiensi biaya yang dikeluarkan untuk melakukan Investasi penggantian kaca dengan penghematan yang diperoleh.

Investasi penggantian kaca diasumsikan menggunakan harga yang dijual dipasaran saat ini (20 Oktober 2024), dengan rincian sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luasan kaca} &= 2.455,9 \text{ ft}^2 = 228,7 \text{ m}^2 \\ \text{Harga kaca} &= \$15/\text{m}^2* \end{aligned}$$

*(1 USD = 15.474,35 IDR, Sumber : Bank Indonesia per tanggal 20 Oktober 2024)

$$\begin{aligned} \text{Investasi} &= \$15/\text{m}^2 \times 228,7 \text{ m}^2 \\ &= \$ 3.430,5 \\ &= \text{Rp. } 53.084.758,- \end{aligned}$$

3.7 Analisis Payback Period Invetasi Kaca

Analisis *payback period* dilakukan agar dapat diketahui lama waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal. Analisis *payback period* dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Payback period} &= \frac{\text{Rp. } 53.084.758,-}{\text{Rp. } 74.005.800 / \text{tahun}} \\ \text{Payback period} &= 0,72 \text{ tahun} \\ &= 8,6 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Dari analisis *payback period* diatas, dapat diketahui bahwa rekomendasi tersebut dapat diimplementasikan, dengan waktu yang dibutuhkan untuk kembali modal adalah < 1 tahun.

Sejalan dengan penelitian Taufik Hidayat, (2015) dan Eko Suryo Sunarwanto, (2020), dengan perhitungan yang tepat dan dilakukannya investasi, dapat memperoleh penghematan konsumsi energi setelah melewati *payback period*.

4 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penulisan makalah ini adalah Peluang penghematan penggunaan energi di Ruang tunggu Gate 4 diperoleh dengan cara melakukan investasi penggantian kaca dari tipe *single glass* ke tipe *double glass*. Rekomendasi penggantian jenis kaca yang diberikan diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan penumpang/penghuni di ruang tunggu Gate 4, dan dapat mengurangi konsumsi energi untuk beban pendinginan.

Total penurunan beban pendinginan transmisi dan radiasi kaca setelah diberikan rekomendasi penggantian jenis kaca adalah sebesar 44.852 kWh/tahun. Penurunan beban pendinginan berdampak kepada penghematan biaya konsumsi energi sebesar Rp.74.005.800/tahun. Untuk memperoleh penghematan biaya konsumsi energi tersebut, investasi yang perlu diberikan adalah sebesar Rp.53.084.758,- dengan *payback period* selama 0,72 tahun (8,6 bulan).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang telah mendukung atas terselesaikannya penelitian ini, beserta dukungan publikasi Nasional guna menjadi manfaat bagi masyarakat luas.

Daftar Pustaka

- ASHRAE. (1997). ASHRAE-HANDBOOK-1997 Fundamental. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2004). ASHRAE-HANDBOOK-2004 Fundamental. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
- Bank Indonesia. (2024). "Kurs Transaksi Bank Indonesia". <http://www.bi.go.id>.
- Hidayat, Taufik. (2015). Analisis audit energi listrik pada sistem pengkondisian udara (studi kasus di ruang kelas Fakultas Ekonomi Universitas Tanjungpura). *Jurnal ELKHA*, 7(1).
- PM 41 Tahun 2023. tentang Pelayanan Jasa Kebandarudaraan di Bandar Udara.
- Prabowo, Isna Habibie. (2015). Evaluasi Kebutuhan Energi pada Ruang Kelas dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya dengan Analisa Beban Pendingin dan Sistem Penerangan. Surabaya : *Tugas Akhir, ITS Surabaya*.
- Pramonohadi, Sasongko. (2005). *Konservasi Energi Dalam Penyediaan Energi Nasional*. Diakses pada 20 Oktober 2024 dari <https://ugm.ac.id/id/berita/1057-konservasi-energi-dalam-penyediaan-energi-nasional/>

- Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009, No. 1. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Sunarwanto, Eko Suryo. (2020). Peningkatan Efisiensi Sistem Pencahayaan dan Pendingin Gedung Bertingkat Berbasis Green Building. *Sutet*, vol. 10, no. 2.