

# KOMPARASI NILAI BEBAN PENDINGIN PADA RUANG SWITCHGEAR SUBSTATION BERDASARKAN PERBEDAAN PENDEKATAN NUMERIK (STUDI KASUS DI LNG X)

Masyudul Haq Syaifullah<sup>\*1</sup>, Naufal Abdurrahman Prasetyo<sup>1\*</sup> and Siti Adriani<sup>2\*</sup>

<sup>\*</sup> Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: 4412531003.Masyudul@students.polibatam.ac.id

## Abstrak

Sistem tata udara (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning / HVAC*) memegang peranan strategis dalam menjaga kestabilan kondisi termal serta menjamin keandalan operasional peralatan listrik, terutama pada fasilitas industri berskala besar seperti *Liquefied Natural Gas (LNG)*. Di dalam fasilitas LNG, ruang *Switchgear Substation* merupakan salah satu area yang bersifat kritis karena berfungsi sebagai pusat distribusi daya dan beroperasi secara terus-menerus dengan kontribusi beban panas internal yang signifikan. Ketidakakuratan dalam menentukan besaran beban pendinginan pada ruang tersebut berpotensi menimbulkan ketidakefisienan penggunaan energi, penurunan performa peralatan, serta meningkatnya risiko kegagalan sistem. Oleh sebab itu, penentuan beban pendinginan yang presisi menjadi tahapan yang sangat penting dalam proses perancangan sistem HVAC. Penelitian ini mengkaji dan membandingkan perhitungan beban pendinginan ruang *Switchgear Substation* pada fasilitas LNG menggunakan dua pendekatan, yaitu metode *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)* dan simulasi perangkat lunak *Carrier Hourly Analysis Program (HAP) 5.11*. Perhitungan dilakukan berdasarkan parameter termal bangunan, data iklim lokal, serta beban internal dari peralatan listrik dan pencahayaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode CLTD menghasilkan beban pendinginan sebesar 51,956 kW, sedangkan simulasi HAP menghasilkan 48,634 kW, dengan selisih 6,40% yang masih berada dalam batas toleransi desain sistem HVAC. Perbedaan tersebut disebabkan oleh pendekatan CLTD yang bersifat *steady-state* dengan asumsi kondisi puncak tetap, sedangkan HAP menggunakan simulasi dinamis berbasis data per jam yang mempertimbangkan variasi suhu, radiasi matahari, dan beban internal. Dalam konteks perancangan, metode CLTD dapat digunakan sebagai alat estimasi dan validasi awal, sementara HAP lebih sesuai untuk desain detail dan analisis efisiensi energi pada proyek berskala besar.

**Kata kunci:** HVAC, Beban pendinginan, CLTD, Carrier HAP 5.11, Ruang Switchgear, Efisiensi energi.

## Abstract

*Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) systems play a critical role in maintaining thermal stability and ensuring the operational reliability of electrical equipment, particularly in large-scale industrial facilities such as Liquefied Natural Gas (LNG) plants. Within LNG facilities, the Switchgear Substation is a critical area that functions as the main power distribution center and operates continuously with a significant internal heat load. Inaccurate determination of the cooling load in this space may lead to energy inefficiency, reduced equipment performance, and an increased risk of system failure. Therefore, accurate cooling load estimation is a crucial step in HVAC system design. This study analyzes and compares the cooling load calculation of a Switchgear Substation in an LNG facility using two approaches: the Cooling Load Temperature Difference (CLTD) method and simulation using Carrier Hourly Analysis Program (HAP) version 5.11. The calculations are based on building thermal parameters, local climatic data, and internal heat gains from electrical equipment and lighting. The results indicate that the CLTD method produces a cooling load of 51.956 kW, while the HAP simulation yields 48.634 kW, resulting in a difference of 6.40%, which remains within acceptable HVAC design tolerance limits. This discrepancy arises from the steady-state nature of the CLTD method, which assumes constant peak conditions, whereas HAP employs dynamic hourly simulations that account for variations in temperature, solar radiation, and internal heat loads. In practical applications, the CLTD method is suitable for preliminary estimation and early-stage validation, while HAP is more appropriate for detailed design and energy efficiency analysis in large-scale projects.*

**Keywords:** HVAC, Cooling load, CLTD, Carrier HAP 5.11, Switchgear room, Energy efficiency.

## 1. Pendahuluan

Sistem tata udara atau HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) memiliki peran yang sangat strategis dalam mempertahankan kestabilan parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara, khususnya pada fasilitas industri yang memiliki kebutuhan operasional tinggi. Pada fasilitas berskala besar seperti pabrik pengolahan gas alam cair (*Liquefied Natural Gas/LNG*), HVAC tidak hanya berfungsi untuk menciptakan kenyamanan termal bagi personel yang bekerja di dalam fasilitas industri, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keandalan operasional perangkat elektronik dan instrumentasi yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap fluktuasi termal. Salah satu area vital dalam fasilitas tersebut adalah ruang *Switchgear substation*, yakni ruang kendali utama sistem distribusi daya. Mengingat peralatan di ruang ini beroperasi terus-menerus dan menghasilkan panas dalam jumlah besar, kestabilan sistem pendingin menjadi syarat mutlak. Akumulasi panas yang tidak terkendali dapat menurunkan performa perangkat, mempercepat kerusakan komponen dan meningkatkan risiko kegagalan sistem secara menyeluruh yang berpotensi mengganggu kelangsungan proses produksi.

Proyek LNG X merupakan contoh konkret dari fasilitas pengolahan LNG berskala besar yang dibangun di wilayah pesisir Afrika Timur, dirancang untuk mencapai output produksi tinggi melalui penerapan teknologi *liquefaction* mutakhir. Rangkaian proses dalam fasilitas ini meliputi pemisahan gas dan cairan, pengolahan gas yang mencakup penghilangan gas asam, dehidrasi, dan ekstraksi merkuri, serta pemisahan komponen berat seperti C5+ hingga tahap penyimpanan dan distribusi LNG. Pada bagian pendukung, seperti ruang *Switchgear Substation*, sistem HVAC memiliki peran vital dalam memastikan perangkat listrik dan sistem kontrol tetap berada pada kondisi operasi yang optimal. Mengingat lokasi geografisnya yang berada di iklim tropis dengan kelembaban tinggi serta beban panas internal yang besar, efisiensi sistem pendingin menjadi faktor kunci. Oleh karena itu, perhitungan beban pendingin yang akurat sangat diperlukan agar kapasitas sistem yang diterapkan benar-benar mencerminkan kebutuhan riil di lapangan, sekaligus mencegah pemborosan energi dan biaya.

Mengacu pada ASHRAE *Handbook of Fundamentals* [1], total beban pendinginan suatu ruangan terdiri dari tiga komponen utama, yaitu beban akibat perpindahan panas melalui dinding dan atap bangunan, beban internal yang berasal dari aktivitas peralatan dan penghuni, dan beban ventilasi yang timbul karena pertukaran udara luar dengan udara di dalam ruangan. Ketiga elemen ini secara kolektif menentukan seberapa besar energi yang dibutuhkan oleh sistem pendingin untuk menjaga suhu ruangan pada level yang diinginkan. Ketidaktepatan dalam menentukan besar masing-masing komponen dapat menyebabkan rancangan sistem HVAC yang tidak efisien, baik karena *overdesign* yang menyebabkan pemborosan energi, maupun *undercooling* yang dapat membahayakan operasional peralatan. Oleh sebab itu, penentuan beban pendinginan yang presisi merupakan tahap krusial dalam proses desain HVAC yang optimal dan berkelanjutan.

Metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) adalah salah satu pendekatan manual yang secara luas direkomendasikan oleh ASHRAE untuk estimasi beban pendinginan pada tahap awal perencanaan. Keunggulan utama metode ini terletak pada kemudahan penerapan serta kemampuannya memberikan hasil estimasi yang cukup representatif dalam konteks praktis. Studi [2], menunjukkan bahwa metode CLTD dapat secara efektif menghitung kebutuhan pendinginan bangunan dengan mempertimbangkan variabel, seperti radiasi matahari, karakteristik material bangunan, serta kondisi operasional ruang. Penelitian [3] dalam konteks ruang pelatihan juga menegaskan pentingnya penggunaan data beban aktual agar suhu ruang tetap berada dalam zona kenyamanan termal sesuai standar ASHRAE. Sementara itu, kemajuan teknologi memungkinkan pemanfaatan perangkat lunak, seperti *Carrier Hourly Analysis Program* (HAP) yang mampu melakukan simulasi beban secara dinamis berdasarkan jam operasional, pola penggunaan ruang, dan perubahan kondisi iklim lokal [4]. Pendekatan ini menawarkan akurasi yang lebih tinggi dalam menentukan kebutuhan sistem pendingin.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai beban pada *Switchgear Substation* menggunakan metode CLTD dan metode HAP. Penelitian ini dibatasi hanya pada perhitungan beban pendingin di ruang switchgear, tanpa mencakup area atau ruangan lain di luar ruang tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi pertimbangan untuk desain sistem HVAC. Selain itu, diharapkan memberikan kontribusi praktis dalam penyusunan perencanaan sistem pendingin yang lebih presisi, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan spesifik fasilitas, sekaligus menjadi referensi teknis bagi perancang HVAC di lingkungan industri berskala besar.

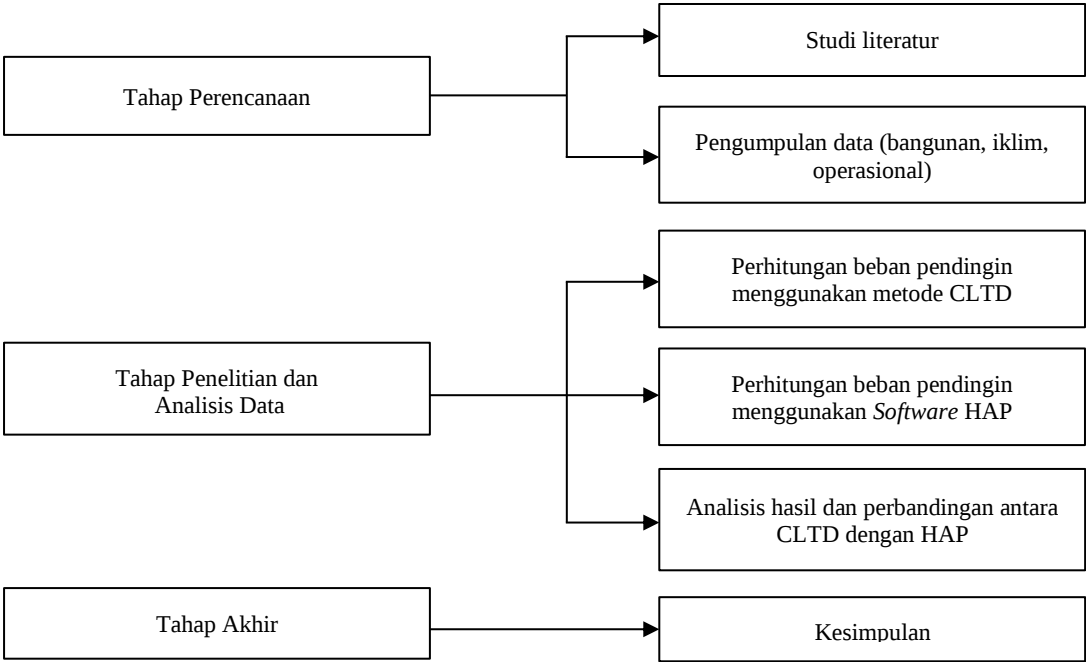
## 2. Metodologi Penelitian

Ruang *Switchgear* berfungsi sebagai pusat distribusi daya listrik tegangan menengah di fasilitas LNG X. Ruangan ini dilengkapi dengan peralatan dan panel kontrol yang beroperasi secara terus-menerus dan menghasilkan panas secara konstan. Untuk menjaga kestabilan suhu dan mendukung kinerja peralatan, dibutuhkan sistem HVAC yang andal. Penelitian ini bertujuan menghitung dan menganalisis kebutuhan beban pendinginan ruang tersebut menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) berdasarkan ASHRAE *Handbook of Fundamentals* [1]. Hasil perhitungan manual kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan

perangkat lunak *Carrier HAP* untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi, sebagaimana dilakukan pada penelitian sebelumnya [5].

Data penelitian bersumber dari dokumen teknis proyek LNG X, meliputi dimensi ruang, orientasi bangunan, jenis material, dan kondisi operasional peralatan. Informasi ini digunakan untuk menentukan nilai *U-value* dan beban panas internal. Sementara itu, parameter iklim seperti suhu luar, kelembaban, dan radiasi matahari diambil dari *ASHRAE Climatic Design Data* [1], menyesuaikan dengan lokasi proyek. Pendekatan ini selaras dengan metode yang diterapkan pada penelitian terdahulu [6][7], yang menekankan pentingnya integrasi data iklim dan karakteristik termal bangunan dalam estimasi beban pendinginan.

2.1. Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang mencakup tahapan mulai dari perencanaan hingga penyusunan hasil akhir. Proses diawali dengan studi literatur dan pengumpulan data terkait kondisi bangunan, iklim, serta operasional ruang. Selanjutnya, data tersebut dianalisis menggunakan dua pendekatan, yaitu perhitungan manual dengan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *Carrier HAP* 5.11. Hasil dari kedua metode tersebut dibandingkan untuk mengevaluasi perbedaan beban pendinginan dan menilai tingkat kesesuaiannya.

2.2. Data Fisik dan Material

Spesifikasi teknis dari ruang *Switchgear* ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Data teknis ruang *Switchgear*

| No | Komponen                       | Nilai               | No | Komponen                   | Nilai                 |
|----|--------------------------------|---------------------|----|----------------------------|-----------------------|
| 1  | Lintang                        | -10,9°              | 8  | Luas lantai                | 276,45 m <sup>2</sup> |
| 2  | Suhu luar ( <i>Dry Bulb</i> )  | 32 °C               | 9  | Luas atap                  | 296,90 m <sup>2</sup> |
| 3  | Suhu basah ( <i>Wet Bulb</i> ) | 28 °C               | 10 | Luas total dinding         | 430,78 m <sup>2</sup> |
| 4  | Panjang ruang                  | 33,55 m             | 11 | Luas pintu 1 <i>single</i> | 7,2 m <sup>2</sup>    |
| 5  | Lebar ruang                    | 8.24 m              | 12 | Luas pintu 2 <i>double</i> | 2,52 m <sup>2</sup>   |
| 6  | Tinggi ruang                   | 5,37 m              | 13 | Suhu ruang desain          | 24 °C                 |
| 7  | Volume ruang                   | 1485 m <sup>3</sup> | 14 | Kelembaban relatif         | 55 % RH               |

Tabel 1 menyajikan data teknis utama ruang *Switchgear*, yang mencakup parameter iklim, dimensi ruang, dan kondisi desain yang digunakan dalam analisis beban pendinginan. Informasi tersebut menjadi dasar untuk menghitung volume ruangan, luas permukaan bangunan, dan batas suhu pada metode CLTD.

**Tabel 2. Luas Permukaan Keseluruhan Dinding yang Terpapar**

| <i>DESCRIPTION</i> | <i>NW WALL<br/>(in m2)</i> | <i>NE WALL<br/>(in m2)</i> | <i>SW WALL<br/>(in m2)</i> | <i>SE WALL<br/>(in m2)</i> |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Switchgear</i>  | 190.35                     | -                          | 49.93                      | 190.5                      |

Tabel 2 menampilkan luas total dinding yang terekspos pada setiap orientasi, yaitu NW, SW, dan SE. Luas permukaan ini digunakan sebagai dasar perhitungan beban panas konduktif, karena arah orientasi mempengaruhi intensitas radiasi matahari yang masuk ke dalam ruang.

Material pada *Substation* LNG X memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil perhitungan beban pendinginan. Setiap elemen bangunan seperti dinding, atap, lantai, dan pintu memiliki nilai konduktivitas termal (K) dan *U-value* yang berbeda, yang menentukan besarnya aliran panas masuk ke dalam ruangan. Penelitian [8] menyatakan bahwa perbedaan karakteristik material serta orientasinya terhadap radiasi matahari menjadi faktor utama yang mempengaruhi beban pendinginan.

Material yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3. Konduktivitas termal (K) tiap material penyusun**

| <b>Komponen <i>Substation</i> LNG X</b> |                 |                                               |
|-----------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|
| <b>No</b>                               | <b>Komponen</b> | <b><i>U-Value</i><br/>(W/m<sup>2</sup>°K)</b> |
| 1                                       | <i>Wall</i>     | 0.28                                          |
| 2                                       | <i>Roof</i>     | 0.17                                          |
| 3                                       | <i>Floor</i>    | 0.28                                          |
| 4                                       | <i>Door</i>     | 2.50                                          |

Tabel 3 menyajikan data material untuk setiap elemen bangunan *Substation* LNG X termasuk dinding, atap, dan lantai, lengkap dengan ketebalan serta nilai konduktivitas termal (K) setiap lapisan. Informasi ini digunakan untuk menghitung *U-value*, yang menentukan laju perpindahan panas melalui masing-masing komponen.

Material isolator, seperti *rock wool*, yang memiliki konduktivitas termal rendah, berfungsi sebagai lapisan utama untuk mengurangi perpindahan panas dari luar. Sementara itu, *mild steel* dan *zincalume sheet* digunakan sebagai pelindung struktural. Kombinasi antara logam dan material isolasi ini dirancang untuk menjaga kestabilan performa termal selubung bangunan terhadap perubahan suhu eksternal. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *building envelope design* dalam *ASHRAE Handbook of Fundamentals* [1], yang menyatakan bahwa penggunaan material berlapis dengan karakteristik termal berbeda dapat meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan beban pendinginan bangunan.

Detail mengenai jenis lampu, jumlah unit, dan daya listrik masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Input beban lampu di ruang *Switchgear***

| <b><i>Lighting Fixture List</i></b> |                                               |                          |                     |                           |                         |                                  |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| <b>No</b>                           | <b>Jenis Lampu</b>                            | <b>Jumlah<br/>(unit)</b> | <b>Daya<br/>(W)</b> | <b>Total Daya<br/>(W)</b> | <b>Mode<br/>Operasi</b> | <b>LPD<br/>(W/m<sup>2</sup>)</b> |
| 1                                   | PVLL-5L 3000K ( <i>Eaton's Crouse-Hinds</i> ) | 17                       | 50                  | 850                       | <i>Normal</i>           | -                                |
| 2                                   | EVFG236 ( <i>Not yet DIALux member</i> )      | 8                        | 73                  | 584                       | <i>Normal</i>           | -                                |
| <b><i>Total (Normal Mode)</i></b>   |                                               | -                        | -                   | <b>1434</b>               | -                       | <b>5.19</b>                      |

Tabel 4 menyajikan data jenis lampu yang digunakan di ruang *Switchgear*, mencakup jumlah unit, daya per lampu, total daya, mode operasi, serta nilai *Lighting Power Density* (LPD). Informasi ini diperoleh dari dokumen teknis proyek yang menjelaskan spesifikasi sistem pencahayaan pada *Substation* LNG X.

Total daya pencahayaan menunjukkan konsumsi energi seluruh lampu dalam kondisi operasi, sedangkan *LPD* (W/m<sup>2</sup>) merepresentasikan intensitas daya penerangan per luas ruangan. Lampu dengan mode *Normal* beroperasi selama jam desain dan dikategorikan sebagai sumber *internal sensible heat load*, sedangkan lampu *Emergency* dan *Escape* tidak dimasukkan dalam perhitungan karena hanya aktif saat kondisi darurat.

Perhitungan ini mengikuti pedoman *ASHRAE Handbook of Fundamentals* [1], yang menyatakan bahwa pada ruang tanpa ventilasi *plenum*, seluruh panas dari pencahayaan ditransfer ke ruang berpendingin (*lighting heat to space ratio* = 1). Oleh karena itu, semua lampu tipe *surface-mounted luminaire*, seperti PVLL-5L dan EVF 236 dianggap

berkontribusi penuh terhadap beban pendinginan internal.

Selain panas yang dihasilkan oleh sistem pencahayaan, peralatan listrik juga memberikan kontribusi signifikan terhadap beban panas internal di ruang *Switchgear*. Energi listrik yang digunakan oleh berbagai panel dan perangkat kontrol menghasilkan panas konduktif selama operasi, yang secara langsung meningkatkan suhu udara dalam ruangan. Kondisi ini menjadikan panas dari peralatan listrik sebagai salah satu komponen utama yang harus diperhitungkan secara akurat dalam total beban pendinginan ruang *Switchgear*.

Rincian jenis peralatan, estimasi *heat load*, dan status operasional dalam mode *essential* disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5. Input beban peralatan ruang *Switchgear***

| Equipment List                                              |                      |                                                                 |                       |                    |
|-------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| No                                                          | Kategori Peralatan   | Komponen                                                        | Total Beban Panas (W) | Mode Operasi (Y/N) |
| 1                                                           | Power Equipment      | 6.6 kV, 400V LV <i>Switchgear</i> , Busduct, UPS, DC Disconnect | 24619.11              | Y/N                |
| 2                                                           | Control & Monitoring | BMS, ECMS, Distribution Panels                                  | 1330                  | Y                  |
| 3                                                           | Lighting System      | Normal & Essential Lighting Panels                              | 720                   | Y                  |
| 4                                                           | HVAC & Safety System | Fire Alarm, HVAC Control, NOVEC Panel                           | 2230                  | Y                  |
| 5                                                           | Communication        | Telecom & Interposing Relay Panels                              | 3480                  | Y                  |
| Total Weight & Heat loss                                    |                      |                                                                 | 32379                 |                    |
| 20% Design Margin                                           |                      |                                                                 | 6476                  |                    |
| <b>Total Weight &amp; Heat loss including Design Margin</b> |                      |                                                                 | <b>38855</b>          |                    |

Tabel 5 memuat daftar peralatan listrik di ruang *Switchgear*, lengkap dengan nilai *heat load* dan status operasional dalam mode *essential*. Data ini diperoleh dari dokumen teknis proyek, mencakup spesifikasi peralatan seperti *switchgear panel*, *control panel*, *distribution panel*, dan perangkat telekomunikasi. Nilai *heat load* menunjukkan besarnya panas yang dihasilkan selama operasi, yang dikonversi menjadi beban pendinginan sebagai bagian dari total *internal load*. Peralatan dengan status *essential* dianggap aktif sepanjang jam desain, sehingga panas yang dihasilkannya diklasifikasikan sebagai *steady internal sensible heat gain*.

Informasi ini digunakan untuk menghitung kontribusi panas peralatan terhadap total beban pendinginan ruangan. Proses perhitungan mengacu pada rumus dalam ASHRAE *Handbook of Fundamentals* [1], yang mempertimbangkan kapasitas listrik, faktor beban, dan durasi operasi masing-masing peralatan.

Metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) digunakan untuk menghitung total panas yang harus dihilangkan oleh sistem pendingin agar suhu ruang tetap konstan pada kondisi desain. Nilai CLTD diperoleh dari tabel ASHRAE *Handbook of Fundamentals* [1] yang telah disesuaikan dengan orientasi bangunan dan kondisi iklim tropis.

### 2.3. Beban Pendinginan Eksternal

Metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) digunakan untuk menghitung perpindahan panas melalui elemen bangunan seperti dinding, atap, lantai, dan pintu.

#### Rumus Dasar CLTD

Prinsip dasarnya dinyatakan dalam Persamaan:

$$Q = U \times A \times CLTD_c \quad (1)$$

Keterangan :  
 Q = Beban panas (W)  
 U = Koefisien perpindahan panas total (W/m<sup>2</sup>K)  
 A = Luas permukaan bangunan (m<sup>2</sup>)  
 CLTD<sub>c</sub> = *Cooling Load Temperature Difference Correction* (°C)

Metode ini digunakan untuk mempertimbangkan pengaruh radiasi matahari, konduksi, dan kapasitas panas material dalam menentukan selisih temperatur antara lingkungan luar dan dalam ruangan.

#### Koreksi Latitude dan Bulan (LM)

Tabel CLTD dasar dalam ASHRAE disusun untuk kondisi lintang 40° LU pada bulan Juli. Oleh karena itu, diperlukan koreksi agar nilai CLTD relevan dengan lintang geografis proyek dan bulan perhitungan. Penyesuaian ini merujuk pada ASHRAE *Handbook of Fundamentals* [9], bagian *Cooling Load Temperature Difference Corrections for Latitude and Month*.

Berdasarkan pada lokasi proyek di LNG X (lintang 10,9° LS) dan waktu perhitungan pada bulan Januari yang ekuivalen dengan Juli di belahan Bumi utara maka diperoleh nilai koreksi sebagai berikut:

$$LM = -2,7^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

Nilai koreksi LM kemudian ditambahkan pada CLTD dasar untuk menyesuaikan perbedaan intensitas radiasi matahari akibat variasi posisi matahari dan lintang geografis lokasi proyek.

**Tabel 6. Koreksi Latitude dan Bulan berdasarkan ASHRAE Handbook of Fundamentals [9]**

| Month      | N    | Celcius     |           |             |         |             |           |             | S    | Hor.  |
|------------|------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|------|-------|
|            |      | NNE,<br>NNW | NE,<br>NW | ENE,<br>WNW | E,<br>W | ESE,<br>WSW | SE,<br>SW | SSE,<br>SSW |      |       |
| Dec.       | -3.3 | -4.4        | -5.5      | -7.2        | -5.5    | -3.8        | 0         | 3.8         | 5.5  | -11.6 |
| Jan./Nov.  | -2.7 | -3.8        | -5.5      | -6.6        | -5      | -3.3        | 0.5       | 4.4         | 6.1  | -10.5 |
| Feb./Oct.  | -2.7 | -3.8        | -4.4      | -5.0        | -3.3    | -1.6        | 1.6       | 4.4         | 6.6  | -7.7  |
| Mar./Sept. | -2.2 | -2.7        | -2.7      | -3.3        | -1.6    | 0.5         | 2.2       | 3.8         | 5.5  | -4.4  |
| Apr./Aug.  | -1.1 | -1.6        | -1.1      | -1.1        | 0       | 0           | 1.1       | 1.6         | 2.2  | 1.6   |
| May/Jul.   | 0    | 0           | 0         | 0           | 0       | 0           | 0         | 0           | 0.5  | 0.5   |
| Jun.       | 0.5  | 0.5         | 0.5       | 0           | 0.5     | 0           | 0         | -0.5        | -0.5 | 1.1   |

Tabel 6 menyajikan faktor koreksi *Latitude Month* (LM) yang digunakan untuk menyesuaikan nilai dasar *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) agar mencerminkan kondisi geografis dan waktu perhitungan proyek secara lebih akurat. Nilai koreksi tersebut diambil dari ASHRAE Handbook of Fundamentals (1989) [9], bagian *Cooling Load Temperature Difference Corrections for Latitude and Month*.

Faktor LM mengakomodasi perbedaan intensitas radiasi matahari akibat variasi posisi matahari berdasarkan lintang dan bulan. Karena tabel CLTD standar disusun untuk lintang 40° LU pada bulan Juli, maka proyek di lintang berbeda seperti 10,9° LS pada fasilitas LNG X memerlukan penyesuaian.

Dalam kasus ini, perhitungan dilakukan untuk bulan Januari yang ekuivalen dengan Juli di belahan utara. Hasil koreksi menghasilkan nilai LM = -2,7 °C, yang menunjukkan bahwa intensitas radiasi di lokasi proyek lebih rendah dari kondisi referensi, sehingga nilai CLTD dikurangi sebesar 2,7 °C untuk menyesuaikan dengan kondisi iklim tropis selatan.

#### Koreksi CLTD Akhir

Penyesuaian nilai CLTD dilakukan menggunakan faktor *latitude-month*, kemudian dikoreksi agar mencerminkan kondisi aktual di lapangan. Koreksi ini mempertimbangkan suhu desain luar ruangan serta warna permukaan bangunan yang berpengaruh terhadap besarnya panas yang masuk ke dalam ruang.

Penyesuaian dilakukan dengan menggunakan rumus koreksi CLTD sebagai berikut:

$$(CLTD_c) = CLTD_{base} + (T_o - 29) + (T_r - 24) + LM + \Delta_{color} \quad (3)$$

Keterangan : LM = Faktor koreksi lintang dan bulan

$T_o$  = Suhu luar aktual (°C)

$T_r$  = Suhu dalam ruang (°C)

$\Delta_{color}$  = Koreksi warna permukaan (°C), bernilai 0°C untuk atap dengan cat berwarna terang (*light colored surface*) sesuai tabel koreksi warna ASHRAE

Nilai *Corrected Cooling Load Temperature Difference* (CLTD<sub>c</sub>) yang telah dikoreksi digunakan sebagai dasar untuk menghitung beban panas dari tiap elemen bangunan. Perhitungan ini mengacu pada Persamaan (1), yang menunjukkan hubungan antara CLTD<sub>c</sub> dan variabel termal lain dalam proses perpindahan panas pada komponen bangunan.

#### Perhitungan CLTD Tiap Komponen

##### Dinding

Nilai CLTD pada dinding diperoleh dari tabel *Sunlit Walls* (Wall No. 2, ASHRAE 1997) [10], dengan penyesuaian waktu berdasarkan orientasi fasad terhadap arah datangnya radiasi matahari. Fasad tenggara (SE) menggunakan data pukul 10.00 dengan nilai 10 °C, barat daya (SW) pukul 15.00 dengan nilai 23 °C, dan barat laut (NW) pukul 16.00 dengan nilai 18 °C, sesuai dengan periode paparan maksimum masing-masing sisi. Nilai tersebut kemudian dikoreksi dengan mempertimbangkan faktor LM, perbedaan suhu luar dan dalam ( $T_o - T_r$ ), serta warna permukaan, sehingga menghasilkan nilai CLTD terkoreksi (CLTD<sub>c</sub>) yang lebih akurat

##### Atap

Nilai CLTD untuk atap diperoleh dari tabel *Flat Roofs* (Roof No. 5, ASHRAE 1997) [10] pada pukul 14.00 dengan

nilai 28°C, yang dianggap mewakili puncak perpaduan antara radiasi matahari dan perpindahan panas secara konduksi pada permukaan horizontal. Pemilihan waktu ini didasarkan pada fakta bahwa radiasi maksimum terjadi sekitar tengah hari, sementara puncak suhu permukaan akibat konduksi biasanya terjadi satu hingga dua jam kemudian. Selanjutnya, nilai dasar CLTD dikoreksi dengan mempertimbangkan faktor LM, perbedaan suhu luar dan dalam (To–Tr), serta warna permukaan atap, sehingga menghasilkan nilai CLTD terkoreksi yang lebih akurat untuk estimasi beban panas konduktif dari elemen atap.

#### Lantai

Nilai CLTD untuk lantai diperoleh dari *Floors under/over Unconditioned Space* pada *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (1997) [10]. Karena lantai ruang *Switchgear* berada di atas ruang tanpa pendinginan (*unconditioned space*), nilai CLTD yang digunakan adalah 7°C, sesuai kondisi desain suhu luar 32°C dan kategori *Medium Range*. Nilai ini merepresentasikan perpindahan panas konduktif dari ruang bawah menuju ruang berpendingin dan digunakan dalam perhitungan beban panas eksternal.

#### Pintu

Nilai CLTD untuk pintu diperoleh dari Tabel *Wall No. 1* (ASHRAE 1997) [10], karena pelat logam tanpa insulasi memiliki sifat termal yang serupa dengan dinding ekspos. Orientasi fasad tenggara (SE) pada pukul 10.00 dipilih karena mewakili kondisi paparan radiasi tertinggi, dengan nilai CLTD sebesar 28 °C. Nilai ini kemudian disesuaikan dengan memperhitungkan faktor LM, selisih suhu luar-dalam (To–Tr), serta warna permukaan logam, sehingga diperoleh nilai CLTD<sub>(c)</sub> yang lebih akurat untuk memperkirakan perpindahan panas melalui pintu ruang *Switchgear*.

### 2.4. Beban Pendinginan Internal

Beban internal ini berasal dari sumber panas yang ada di ruangan yang tidak terkait dengan kondisi eksternal. Sumber panas internal meliputi panas dari peralatan listrik dan penerangan.

Peralatan listrik :

$$Q_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i \times LF_i \times UF_i \times F_{to\ space,i}) \quad (4)$$

Keterangan:  $Q_{eq}$  = Beban panas *equipment* (W)  
 $P_i$  = Daya nominal peralatan ke-*i* (W).  
 $LF_i$  = Derajat pembebanan rata-rata relatif terhadap rating. (*Load Factor*, 0–1)  
 $UF_i$  = Probabilitas/proporsi peralatan menyala pada jam puncak. (*Diversity Factor*, 0–1)  
 $F_{to\ space,i}$  = Fraksi panas yang benar-benar dilepas ke ruang. (0–1)

Penerangan :

$$Q_{lamp} = P_{lampu} \times BF \times LLF \times R_{to\ space} \quad (5)$$

Keterangan :  $Q_{lamp}$  = Beban panas dari sistem penerangan (W)  
 $P_{lamp}$  = Total daya lampu terpasang (W)  
 $BF$  = *Ballast Factor*, menunjukkan efisiensi sistem *ballast* (untuk lampu *LED* diambil 1.0)  
 $LLF$  = *Lighting Loss Factor*, menggambarkan penurunan output cahaya seiring waktu (untuk perhitungan panas diambil 1.0)  
 $R_{to\ space}$  = Fraksi panas yang dilepaskan ke ruang (1.0 untuk *surface-mounted luminaire* tanpa ventilasi)

Penghuni (*Occupant*):

*Sensible*:

$$Q_{occ,sensible} = N \times SHG \times CLF_{people} \quad (6)$$

*Latent*:

$$Q_{occ,latent} = N \times LHG \quad (7)$$

Total:

$$Q_{occ,total} = Q_{occ,sens} + Q_{occ,lat} \quad (8)$$

Keterangan :  $Q_{occ}$  = Beban panas penghuni (orang)  
 $N$  = Jumlah penghuni (orang)  
 $SHG$  = *Sensible Heat Gain per person* (W/orang)  
 $LHG$  = *Latent Heat Gain per person* (W/orang)  
 $CLF_{people}$  = *Cooling Load Factor* penghuni

Ruang *Switchgear* tidak digunakan sebagai area kerja dengan aktivitas manusia terus-menerus. Sistem di dalamnya beroperasi otomatis, sehingga teknisi hanya hadir saat inspeksi atau pemeliharaan. Karena itu, jumlah penghuni

diasumsikan nol ( $N = 0$ ), dan kontribusi panas sensibel maupun laten dari manusia ( $Q_{(occ,sensible)}$  dan  $Q_{(occ,latent)}$ ) dianggap 0 W. Dengan demikian, panas dari kehadiran manusia tidak mempengaruhi total beban pendinginan yang dihitung sistem HVAC.

## 2.5. Total Beban Pendinginan

Setelah menghitung semua sumber yang ada, total beban pendingin diperoleh dengan menjumlahkan semua komponen.

$$Q_{total} = Q_{external} + Q_{internal} \quad (9)$$

Hasil akhir dinyatakan dalam kW atau TR (ton refrigerasi) untuk menentukan kapasitas pendingin serta memastikan apakah sistem tersebut mampu mengatasi beban panas dengan efisien. Data material pada *Substation LNG X* seperti koefisien perpindahan panas, luas permukaan, dan orientasi terhadap matahari, diolah menggunakan metode CLTD.

Seluruh perhitungan dilakukan secara manual dengan bantuan *software Microsoft Excel* untuk mempermudah otomatisasi perhitungan *U-value*, koreksi CLTD (berdasarkan *Latitude-Month* dan warna permukaan), serta akumulasi beban eksternal dan internal sesuai persamaan (1)-(9). Penggunaan *Excel* juga membantu mengurangi potensi kesalahan dan mempermudah validasi hasil terhadap data simulasi HAP.

Hasil perhitungan tersebut akan dianalisis dan dikomparasikan dengan total beban pendingin yang dihitung menggunakan aplikasi *carrier HAP*.

## 2.6. Simulasi Beban Pendingin Menggunakan HAP

Data fisik dan operasional ruang yang sama dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Carrier Hourly Analysis Program* (HAP) 5.11 untuk melakukan simulasi termal. Data yang diinput meliputi geometri bangunan dan karakteristik material, Jadwal operasi peralatan dan penerangan, kondisi ventilasi dan suhu *set point*, data iklim harian (temperatur, kelembaban, dan radiasi). HAP menghitung variasi beban pendingin setiap jam dan menghasilkan data *Peak Cooling Load* serta profil harian yang dapat dibandingkan dengan hasil CLTD, sebagaimana dijelaskan pada penelitian sebelumnya [5].

Fitur pengaturan temperatur pada HAP versi 5.11 berperan penting dalam menetapkan parameter suhu dan kelembaban sebagai dasar analisis beban pendinginan. Parameter ini membentuk profil termal harian yang mencerminkan fluktuasi suhu dan kelembaban relatif, yang sangat mempengaruhi akurasi simulasi dalam merepresentasikan respons sistem pendingin terhadap kondisi nyata. Sesuai dengan *ASHRAE Handbook of Fundamentals* [1] dan hasil penelitian terdahulu [5], penggunaan data iklim mikro yang representatif menjadi kunci dalam menghasilkan estimasi beban pendinginan yang tepat dan andal untuk desain sistem HVAC.

The screenshot shows the 'Weather Properties - [LNG X]' dialog box with the 'Design Parameters' tab selected. The parameters are organized into two columns:

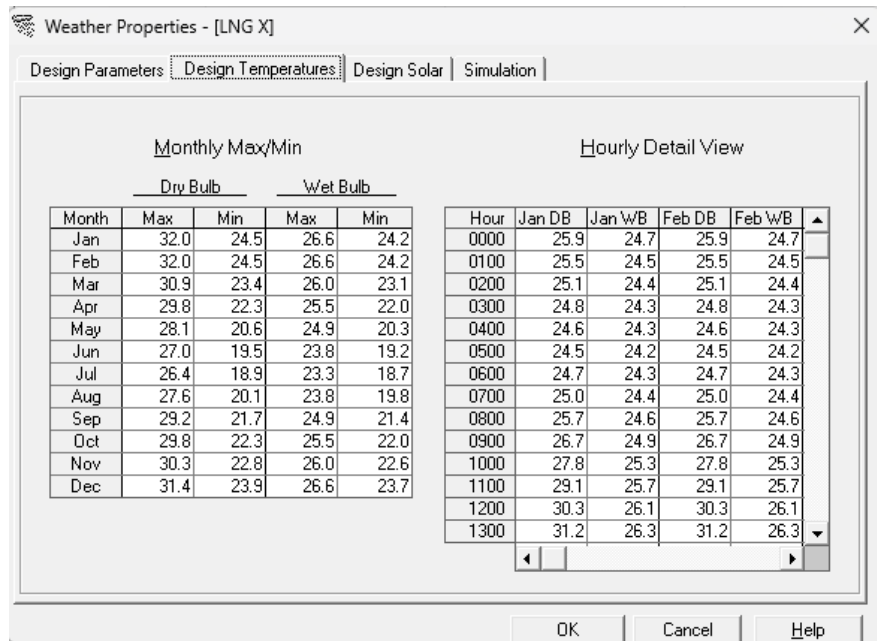
| Parameter                     | Value                                                         | Unit    |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------|
| Region                        | Africa                                                        |         |
| Location                      | LNG X                                                         |         |
| City                          | LNG X                                                         |         |
| Latitude                      | -10.9                                                         | deg     |
| Longitude                     | -40.5                                                         | deg     |
| Elevation                     | 5.0                                                           | m       |
| Summer Design DB              | 32.0                                                          | °C      |
| Summer Coincident WB          | 26.6                                                          | °C      |
| Summer Daily Range            | 7.5                                                           | K       |
| Winter Design DB              | 21.0                                                          | °C      |
| Winter Coincident WB          | 20.2                                                          | °C      |
| Atmospheric Clearness Number  | 1.00                                                          |         |
| Average Ground Reflectance    | 0.20                                                          |         |
| Soil Conductivity             | 1.385                                                         | W/(m K) |
| Design Clg Calculation Months | Jan to Dec                                                    |         |
| Time Zone (GMT +/-)           | -2.0                                                          | hours   |
| Daylight Savings Time         | <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No |         |
| DST Begins                    | Apr 1                                                         |         |
| DST Ends                      | Oct 31                                                        |         |
| Data Source                   |                                                               |         |
| User Modified                 |                                                               |         |

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Help.

**Gambar 2. Design parameters inputs used for setting**

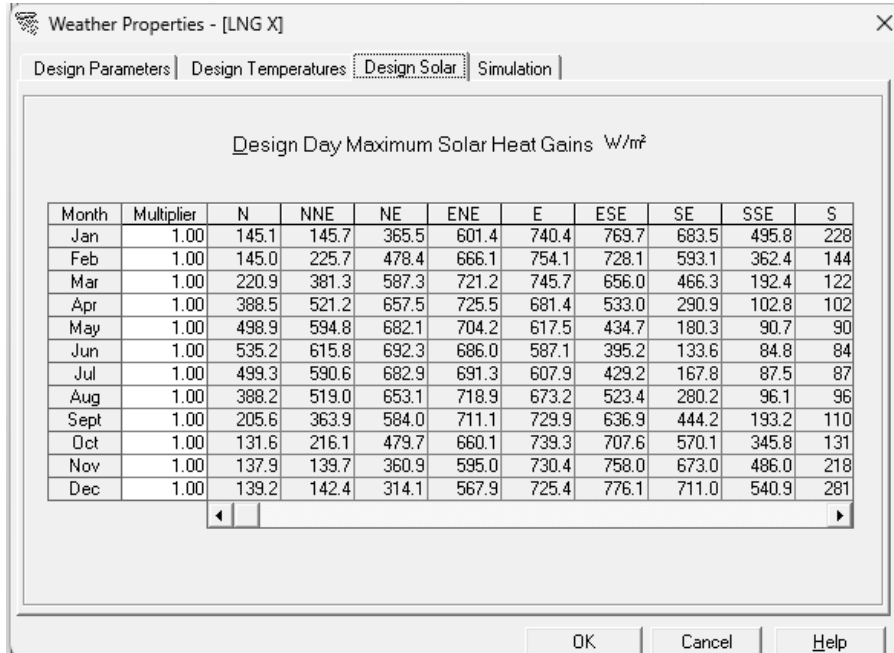
Gambar 2 menampilkan pengaturan parameter desain pada HAP 5.11 yang digunakan untuk menentukan kondisi iklim dan suhu desain proyek. Parameter suhu dan kelembaban digunakan sebagai dasar analisis beban pendinginan serta merepresentasikan iklim mikro lokasi. Nilai-nilai ini digunakan untuk menghitung variasi termal harian yang mempengaruhi simulasi. Sesuai pedoman *ASHRAE Handbook of Fundamentals* [1], pengaturan ini memastikan

hasil perhitungan HAP akurat dan mencerminkan kondisi nyata ruang *Switchgear*.



**Gambar 3. Temperature design settings**

Gambar 3 menampilkan pengaturan data temperatur harian dan bulanan pada perangkat lunak HAP 5.11 yang digunakan untuk membentuk profil suhu luar dalam perhitungan beban pendinginan. Data ini memungkinkan HAP mengestimasi energi panas yang diterima bangunan selama periode radiasi maksimum, sehingga membantu menentukan kapasitas pendingin secara lebih akurat. Penelitian [8] menyebutkan bahwa radiasi matahari merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya beban pendinginan pada bangunan industri.



**Gambar 4. Solar design parameters**

Gambar 4 menampilkan data intensitas radiasi matahari maksimum harian yang digunakan dalam HAP 5.11 untuk menghitung beban pendinginan. Data ini menentukan besarnya energi panas dari radiasi yang diterima permukaan bangunan sepanjang tahun. Dengan parameter ini, HAP dapat memprediksi variasi panas radiasi berdasarkan orientasi bangunan dan waktu puncak, sehingga mendukung estimasi beban pendinginan yang lebih akurat. Penelitian [5] menunjukkan bahwa, penggunaan data radiasi tahunan yang representatif meningkatkan akurasi simulasi HVAC serta efisiensinya terhadap kondisi iklim aktual.

### 3. Analisa Data dan Pembahasan

#### 3.1. Beban Pendingin Eksternal

Beban eksternal terdiri atas konduksi pada dinding, atap, lantai, dan pintu. Berikut adalah perhitungannya:

**Tabel 7. Hasil Perhitungan Beban Eksternal**

| Rekap Numerik Beban Eksternal |    |                |                     |       |         |
|-------------------------------|----|----------------|---------------------|-------|---------|
| Beban Eksternal               |    | A              | U                   | CLTDc | Q       |
|                               |    | m <sup>2</sup> | W/m <sup>2</sup> ·K | °C    | Watt    |
| Dinding                       | NW | 190.35         | 0.28                | 18.30 | 964.51  |
|                               | SW | 49.93          | 0.28                | 23.30 | 322.12  |
|                               | SE | 190.5          | 0.28                | 18.30 | 965.27  |
| Atap                          |    | 296.90         | 0.17                | 28.30 | 1415.10 |
| Lantai                        |    | 276.45         | 0.28                | 7.00  | 535.81  |
| Pintu                         | 1  | 7.2            | 2.5                 | 28.30 | 509.40  |
|                               | 2  | 2.52           | 2.5                 | 28.30 | 178.29  |
| Total Q <sub>external</sub>   |    |                |                     |       | 4890.49 |

Tabel 7 memperlihatkan bahwa besarnya beban pendinginan eksternal dipengaruhi oleh luas masing-masing elemen bangunan dan nilai U-value yang dimilikinya. Dinding berorientasi NW dan SE memberikan kontribusi terbesar karena memiliki bidang permukaan lebih luas serta menerima paparan radiasi matahari sesuai orientasinya. Nilai CLTDc yang digunakan telah disesuaikan dengan faktor lintang bulan (LM), perbedaan suhu desain luar dan dalam serta koreksi warna permukaan sehingga besarnya panas yang dihitung lebih merepresentasikan kondisi iklim aktual di LNG X.

Atap menyumbang beban eksternal yang cukup signifikan meskipun nilai U-value-nya relatif rendah (0,17 W/m<sup>2</sup>·K). Kondisi ini terjadi karena luas atap jauh lebih besar dibandingkan elemen lainnya, dan atap merupakan komponen bangunan yang paling banyak menyerap radiasi matahari sepanjang hari sehingga nilai CLTD-nya cenderung tinggi. Sebaliknya, lantai menunjukkan kontribusi beban yang kecil karena tidak terpapar radiasi langsung, dan perpindahan panas yang terjadi lebih dipengaruhi oleh konduksi terhadap tanah atau ruang di bawahnya.

#### 3.2. Beban Pendingin Internal

Beban internal mencakup beban dari penerangan, orang dan beban dari peralatan. Berikut adalah perhitungannya:

**Tabel 8. Hasil Perhitungan Beban Internal**

| Rekap numerik beban internal |                   |                 |                 |                         |                   |
|------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| Beban Internal               | P <sub>i</sub>    | LF <sub>i</sub> | UF <sub>i</sub> | F <sub>to space,i</sub> | Q <sub>eq</sub>   |
|                              | Watt              |                 |                 |                         | Watt              |
| Peralatan Listrik            | 38855             | 1               | 1               | 1                       | 38855             |
|                              |                   |                 |                 |                         |                   |
| Beban Internal               | P <sub>lamp</sub> | BF              | LLF             | R <sub>to space</sub>   | Q <sub>lamp</sub> |
|                              | Watt              |                 |                 |                         | Watt              |
| Lampu                        | 1434              | 1               | 1               | 1                       | 1434              |
| Total Q <sub>internal</sub>  |                   |                 |                 |                         | 40289             |

Tabel 8 memperlihatkan sumber panas terbesar berasal dari peralatan listrik yang menghasilkan panas total sebesar 38.855 W. Hal ini sejalan dengan fungsi ruang *switchgear* sebagai ruang teknis yang menampung panel distribusi dan perangkat kelistrikan berdaya tinggi dengan pola operasi kontinu. Beban pencahayaan memberikan tambahan panas, namun kontribusinya jauh lebih kecil dibandingkan beban dari peralatan. Selain itu, beban penghuni tidak diperhitungkan karena ruang ini tidak digunakan secara permanen oleh operator dan hanya diakses saat inspeksi atau pemeliharaan.

Secara umum, hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa beban internal merupakan komponen yang paling dominan dibandingkan beban eksternal. Kondisi serupa umumnya ditemukan pada ruang fasilitas teknis yang menampung peralatan listrik beroperasi kontinu seperti *switchgear room*, di mana panas internal dari perangkat elektronik menjadi faktor utama yang harus dikendalikan. Dengan demikian, perancangan sistem HVAC untuk ruang ini perlu berfokus pada mitigasi panas internal dan memastikan distribusi udara yang memadai untuk menjaga kestabilan suhu serta menjamin keandalan operasi peralatan.

#### Beban Penghuni

Pada ruang *switchgear*, beban panas dari penghuni tidak diperhitungkan karena ruangan ini tidak digunakan secara permanen oleh operator. Sistem di dalamnya beroperasi secara otomatis, sehingga keberadaan manusia bersifat

sementara dan hanya saat inspeksi atau perawatan. Dengan demikian, kontribusi panas sensibel dan laten dari manusia dianggap nol ( $Q_{occ} = 0$ ).

### 3.3. Beban Pendingin Total

Beban pendingin total adalah hasil penjumlahan seluruh kalor yang dihasilkan dari sumber internal, dan eksternal.

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_{eksternal} + Q_{internal} \\ &= 4890.49 \text{ W} + 40289 \text{ W} \\ &= 45179.42 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Safety } 15\% &= 0.15 \times (Q_{eksternal} + Q_{internal}) \\ &= 6776.91 \text{ W} \end{aligned}$$

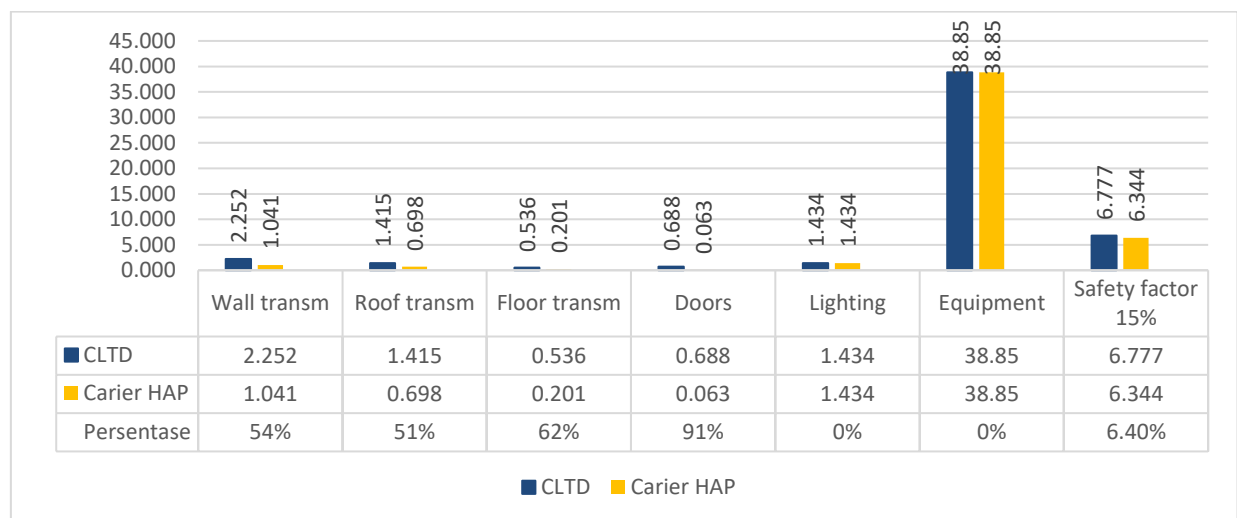
$$\begin{aligned} Q_{total} + 15\% &= 51956.34 \text{ W} \\ &= 51.956 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pada perhitungan beban pendinginan total, diterapkan faktor keamanan sebesar 15% terhadap akumulasi beban pendinginan eksternal dan internal. Pemberian faktor ini dimaksudkan untuk mengakomodasi berbagai ketidakpastian dalam tahap perancangan, antara lain perbedaan antara kondisi desain dan kondisi operasi aktual, kemungkinan deviasi pada data masukan, potensi peningkatan beban peralatan selama masa operasi, serta penurunan kinerja sistem pendingin akibat faktor usia dan pemakaian.

Besaran faktor keamanan sebesar 15% ditetapkan dengan mengacu pada praktik perancangan yang digunakan oleh pihak perusahaan dan masih berada dalam kisaran umum faktor keamanan pada sistem HVAC, yaitu sekitar 10% hingga 20%. Nilai tersebut dipandang cukup konservatif untuk menjaga keandalan sistem pendingin, sekaligus menghindari terjadinya perancangan berlebih (*oversizing*) yang dapat berdampak pada pemborosan energi dan biaya operasional.

### 3.4. Beban pendingin dengan Software HAP

Analisis berikut membahas perbandingan antara hasil perhitungan total beban pendinginan menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)* dan hasil simulasi dari perangkat lunak Carrier HAP 5.11 pada ruang *Switchgear Substation LNG X*. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk meninjau sejauh mana perbedaan muncul antara pendekatan teoritis yang digunakan dalam metode CLTD dan simulasi dinamis yang disediakan oleh HAP.



**Gambar 5. Perbandingan total beban yang dihasilkan oleh CLTD dan HAP 5.11**

Berdasarkan Gambar 5, perhitungan total beban pendinginan menggunakan metode CLTD menghasilkan nilai 51,956 kW, sedangkan simulasi melalui perangkat lunak HAP 5.11 menunjukkan 48,634 kW. Selisih sebesar 3,32 kW atau 6,40% ini masih berada dalam batas toleransi desain sistem HVAC, dengan kontribusi terbesar berasal dari peralatan listrik yang menyumbang sekitar 75% dari total beban.

Perbedaan terbesar terjadi pada komponen pintu, dengan selisih hingga 91%, di mana metode CLTD memberikan hasil lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh asumsi CLTD yang menganggap radiasi matahari konstan, berbeda dengan HAP yang mempertimbangkan variasi radiasi per jam dan orientasi permukaan. Komponen dinding dan atap masing-masing menunjukkan selisih 54% dan 51%, sedangkan beban lampu dan peralatan menunjukkan hasil yang sama di kedua metode.

Perbedaan ini mencerminkan karakteristik pendekatan masing-masing. CLTD bersifat statis dan menggunakan kondisi puncak konstan, sementara HAP 5.11 menyimulasikan kondisi dinamis berdasarkan data aktual per jam, menjadikannya lebih representatif terhadap kondisi nyata di lapangan.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji perbandingan antara metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) dan simulasi menggunakan perangkat lunak *Carrier Hourly Analysis Program* (HAP) 5.11 dalam menentukan beban pendinginan ruang *Switchgear Substation* pada fasilitas LNG X. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode CLTD menghasilkan beban pendinginan sebesar 51,956 kW, sedangkan simulasi HAP menghasilkan 48,634 kW, dengan selisih 6,40%. Perbedaan tersebut masih dapat diterima dalam konteks perancangan sistem HVAC, karena berada dalam kisaran perbedaan empiris yang dilaporkan pada berbagai penelitian sebelumnya, yaitu sekitar 5-15%, meskipun kisaran ini tidak bersifat normatif dan dipengaruhi oleh tingkat kompleksitas bangunan serta akurasi data masukan. Selisih hasil yang diperoleh mencerminkan perbedaan karakteristik pendekatan kedua metode, di mana CLTD menggunakan pendekatan *steady-state* yang bersifat konservatif, sedangkan HAP menerapkan simulasi dinamis berbasis data per jam dengan mempertimbangkan variasi suhu, radiasi matahari, dan beban internal. Berdasarkan hasil dan analisis yang dilakukan, metode CLTD dinilai lebih sesuai untuk keperluan estimasi awal, studi kelayakan, atau proyek jangka pendek, karena kemudahan penerapan, waktu perhitungan yang relatif singkat, serta efisiensi biaya mengingat perhitungannya dapat dilakukan menggunakan Microsoft Excel tanpa memerlukan lisensi perangkat lunak khusus. Sebaliknya, penggunaan *Carrier HAP* lebih direkomendasikan pada tahap perancangan detail dan proyek berskala besar, meskipun memerlukan biaya lisensi dan proses perizinan perangkat lunak yang lebih kompleks, karena mampu memberikan analisis termal yang lebih rinci dan mendukung perancangan sistem pendingin yang efisien secara energi.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE, *ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2021.
- [2] E. Syahrial and R. Hadi Sudono, "Perencanaan Sistem Pendingin Gedung Baru Rumah Sakit PMI Bogor dengan Metode CLTD," J. Tek. Dan Inform, vol. 1, no. 1, pp. 34-40, May 2021.
- [3] I. J. Mutakin, W. Sani, L. Kristianti, and L. Nurhayati, "Analisis Analisis Beban Pendingin pada Ruang Training 9,5x7x3 Perusahaan XYZ," Rekayasa Ind. Dan Mesin ReTIMS, vol. 6, no. 2, pp. 44-49, Jan. 2025.
- [4] Carrier Corporation, *Carrier Hourly Analysis Program (HAP) 5.11 User's Guide*, Carrier Corporation, Syracuse, NY, 2020
- [5] M. Prawibowo and K. Komarudin, "Comparative Analysis of Cooling Load Calculations: CLTD Method vs. Carrier HAP 5.01 Software for Hotel HVAC Design," Int. J. Innov. Mech. Eng. Adv. Mater., vol. 6, no. 1, p. 46, Sept. 2024.
- [6] F. Ananta, T. J. Saputra, dan N. D. Fajarningrum, "Analisis Beban Pendinginan Kereta Argo Lawu New Generation Menggunakan Metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD)," Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 20, no. 1, pp. 139-146, 2025.
- [7] A. Setiawan, A. Choliq, N. Rohmat, dan N. Nurjaya, "Analisa Perhitungan Beban dan Perancangan Distribusi Saluran Udara pada Ruangan Apartemen," CAKRAM: Jurnal Teknik Mesin, vol. 4, no. 2, 2021.
- [8] F. H. Rachman, I. Rizianiza, G. Gunawan, and D. S. Sa'adiyah, "Analisis Beban Pendinginan dengan Metode Cooling Load Temperature Difference pada Ruang Perkuliahan Gedung F Institut Teknologi Kalimantan," SPECTA J. Technol., vol. 7, no. 1, May 2023
- [9] ASHRAE. *ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 1989.
- [10] ASHRAE. *ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 1997.