

## Perancangan Tata Udara Menggunakan Metode *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)* Pada Studi Kasus Proyek X

Madarif Prawibowo<sup>1</sup>, Janatika Putra Perdana<sup>2</sup>, Wiguna Persada Putra<sup>3</sup>,  
Mohamad Haifan<sup>4</sup>

Institut Teknologi Indonesia<sup>1.2.3.4</sup>

madarifprawibowo@gmail.com<sup>1</sup>, janatikaputraperdana@gmail.com<sup>2</sup>,  
wigunapersadaputra03@gmail.com<sup>3</sup>, haifanmohamad1963@gmail.com<sup>4</sup>

### ABSTRACT

*This research is related to the design of air conditioning using the Cooling Load Temperature Difference (CLTD) method in the case study of Project X. One of the methods used is the Cooling Load Temperature Difference (CLTD) method. This method considers factors such as wet-bulb temperature, dry-bulb temperature, and air velocity to calculate the room cooling load. This research applies the CLTD method to a case study project in Jakarta with an air conditioning system in office buildings. This case study provides an example of the practical application of the CLTD method that is beneficial for practitioners in the field of air conditioning engineering. To implement the CLTD method, data from field studies such as room conditions, temperature, and humidity of the room and environment are needed. Next, calculations are made using the CLTD formula adjusted to the position of the sun in each room. The CLTD calculation results show that the highest sensible load is in the Boardroom, while the highest latent load is in the Conference Room. The design of the cooling system with the CLTD method shows optimal results and meets the requirements. The AC capacity calculated accurately and considering K4L factors results in an efficient, safe, and environmentally friendly cooling system.*

**Keywords:** air conditioning design, cooling load temperature difference (CLTD)

### ABSTRAK

Penelitian ini terkait perancangan tata udara menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)* pada studi kasus proyek X. Salah satu metode yang digunakan adalah *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)*. Metode ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti temperatur bola basah, temperatur bola kering, dan kecepatan udara untuk menghitung beban pendinginan ruangan. Penelitian ini menerapkan metode CLTD pada studi kasus proyek di Jakarta dengan sistem tata udara di bangunan perkantoran. Studi kasus ini memberikan contoh penerapan metode CLTD yang praktis dan bermanfaat bagi para praktisi di bidang teknik pendingin udara. Untuk melaksanakan metode CLTD, diperlukan data dari studi lapangan seperti keadaan ruangan, temperatur, dan kelembaban ruangan dan lingkungan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus CLTD yang disesuaikan dengan posisi matahari pada masing-masing ruangan. Hasil perhitungan CLTD menunjukkan bahwa beban *sensible* tertinggi terdapat pada ruangan *Boardroom*, sedangkan beban *latent* tertinggi terdapat pada ruangan *Conference Room*. Perancangan sistem pendinginan dengan metode CLTD menunjukkan hasil yang optimal dan sesuai dengan kebutuhan. Kapasitas AC yang dihitung dengan tepat dan mempertimbangkan faktor K4L menghasilkan sistem pendinginan yang efisien, aman, dan ramah lingkungan.

**Kata Kunci:** perancangan tata udara, *cooling load temperature difference* (CLTD)

## PENDAHULUAN

Di era modern, kebutuhan akan tata udara yang nyaman dan efisien semakin meningkat, terutama di bangunan-bangunan seperti gedung perkantoran, rumah sakit, pusat perbelanjaan, dan tempat tinggal. Tata udara yang baik tidak hanya memberikan kenyamanan bagi penghuni, tetapi juga dapat meningkatkan kesehatan dan produktivitas.

Namun, merancang tata udara yang optimal bukanlah hal yang mudah. Banyak faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti kondisi iklim, jenis bangunan, jumlah penghuni, dan aktivitas yang dilakukan di dalam bangunan. Selain itu, perancangan tata udara juga harus mempertimbangkan pemanfaatan energi yang efisien agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Salah satu metode rancangan untuk mendapatkan tata udara yang nyaman dan efisien adalah menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD). Pada metode ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti temperatur bola basah, temperatur bola kering, dan kecepatan udara untuk menghitung beban pendinginan yang dibutuhkan oleh suatu ruangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode (CLTD) pada studi kasus proyek x di Jakarta dengan sistem perancangan tata udara di suatu bangunan perkantoran, Studi kasus ini diharapkan dapat memberikan contoh penerapan metode (CLTD) yang praktis dan bermanfaat bagi para praktisi di bidang teknik pendingin udara.

Pada studi kasus proyek ini, terdapat beberapa permasalahan detail yang terkait dengan perancangan tata udara menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD), antara lain: Kapasitas AC yang sudah tersedia dari *Building Management* (BM) yang belum disesuaikan dengan ruangan – ruangan *area tenant*. Bangunan proyek memiliki karakteristik yang kompleks, dengan berbagai jenis ruangan dan aktivitas yang berbeda-beda. Hal ini membuat perhitungan beban pendinginan menjadi lebih kompleks. Anggaran yang tersedia untuk proyek ini terbatas, sehingga perlu dicari solusi yang hemat biaya tanpa mengorbankan kenyamanan dan efisiensi tata udara.

## LANDASAN TEORI

Persatuan Insinyur Indonesia / PII telah menetapkan perihal Kode Etik Insinyur sebagai panduan nilai-nilai dan perilaku insinyur dalam “**Catur Karsa Sapta Dharma Insinyur Indonesia**”. Mahasiswa harus dapat menguraikan dan mengaitkan pengalaman keinsinyuran dalam studi kasus dengan Catur Karsa dan Sapta Dharma.

### Catur Karsa

Catur Karsa merupakan empat nilai/ prinsip dasar yang harus dimiliki oleh seorang insinyur, yaitu:

1. Karsa Bakti : Pengertian: Insinyur harus mengabdikan diri untuk kepentingan bangsa dan negara. Hal ini berarti bahwa Insinyur harus menggunakan ilmu pengetahuan dan keahliannya untuk membantu menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi bangsa dan negara.
2. Karsa Karya : Pengertian: Insinyur harus berkarya dengan penuh kreativitas dan inovatif. Hal ini berarti bahwa Insinyur harus selalu berusaha untuk menghasilkan karya-karya yang baru, bermanfaat, dan berkualitas tinggi.
3. Karsa Martabat : Pengertian: Insinyur harus menjaga martabat dan kehormatan profesi. Hal ini berarti bahwa Insinyur harus selalu berperilaku profesional, etis, dan bertanggung jawab dalam menjalankan profesinya.
4. Karsa Sejahtera : Pengertian: Insinyur harus berusaha untuk mewujudkan kesejahteraan bagi masyarakat. Hal ini berarti bahwa Insinyur harus menggunakan ilmu pengetahuan dan keahliannya untuk membantu meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

## Sapta Dharma

Sapta Dharma merupakan tujuh tuntunan sikap dan perilaku Insinyur Indonesia, yaitu senantiasa:

1. Memegang teguh kode etik profesi.  
Insinyur harus selalu patuh terhadap aturan-aturan yang tercantum dalam kode etik profesi Insinyur Indonesia.
2. Meningkatkan dan mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi  
Insinyur harus selalu berusaha untuk meningkatkan pengetahuan dan keahliannya dengan mengikuti perkembangan terbaru dalam bidang sains dan teknologi.
3. Bekerja dengan jujur, berintegritas, dan bertanggung jawab.  
Insinyur harus selalu jujur dan berintegritas tinggi dalam menjalankan profesinya. Insinyur juga harus bertanggung jawab atas pekerjaan mereka dan memastikan bahwa pekerjaan mereka aman dan berkualitas tinggi.
4. Menjunjung tinggi keselamatan, kesehatan, dan kesejahteraan manusia.  
Insinyur harus selalu mengutamakan keselamatan, kesehatan, dan kesejahteraan manusia dalam menjalankan profesinya. Insinyur harus memastikan bahwa karya-karyanya tidak membahayakan manusia dan lingkungan.
5. Melestarikan lingkungan hidup.  
Insinyur harus selalu berusaha untuk melestarikan lingkungan hidup dalam menjalankan profesinya. Insinyur harus menggunakan teknologi yang ramah lingkungan dan meminimalkan dampak negatif dari karya-karyanya terhadap lingkungan.
6. Meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat.  
Insinyur harus selalu berusaha untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat dalam menjalankan profesinya. Insinyur harus

menggunakan ilmu pengetahuan dan keahliannya untuk membantu menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi masyarakat.

7. Berperan aktif dalam pembangunan bangsa dan negara.

Insinyur harus selalu berperan aktif dalam pembangunan bangsa dan negara. Insinyur harus menggunakan ilmu pengetahuan dan keahliannya untuk membantu mewujudkan cita-cita bangsa dan negara.

## METODE PENELITIAN

Dalam studi kasus perancangan tata udara menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD), penulis dapat peran penting dalam berbagai aspek, termasuk:

1. Pengumpulan Data : Dapat membantu mengumpulkan data yang diperlukan untuk analisis CLTD, seperti informasi tentang bangunan, iklim lokal, dan penggunaan ruang.
2. Perhitungan Beban Pendinginan : Dapat menggunakan perangkat Microsoft Excel untuk menghitung beban pendinginan untuk bangunan berdasarkan metode CLTD.
3. Pemilihan Sistem Tata Udara *Ducting* : Dapat membantu memilih sistem tata udara yang tepat untuk bangunan berdasarkan beban pendinginan yang dihitung.
4. Desain Sistem Tata Udara: Dapat membantu merancang sistem tata udara, termasuk pemilihan komponen, tata letak, dan kontrol.

Dalam sebuah proyek setiap individu harus selalu menjunjung tinggi etika dan kode etik profesi insinyur dalam semua aspek pekerjaan mereka. Hal ini termasuk :

1. Kejujuran dan Integritas: pekerja harus selalu jujur dan berintegritas dalam pekerjaan mereka.
2. Keamanan dan Kesejahteraan Masyarakat : Pekerja karyawan harus selalu menempatkan keselamatan dan kesejahteraan masyarakat di atas segalanya.
3. Kompetensi dan Kemampuan : Pekerja karyawan harus hanya melakukan pekerjaan yang mereka kompeten dan mampu lakukan.
4. Tanggung Jawab Profesional : Pekerja karyawan harus bertanggung jawab atas pekerjaan mereka dan memastikan bahwa pekerjaan mereka memenuhi standar profesional yang tinggi.

Pekerja harus menunjukkan profesionalisme keinsinyuran dalam semua aspek pekerjaan mereka. Hal ini termasuk :

1. Memiliki kompetensi profesi & teknis : Pekerja harus memiliki keilmuan yang sesuai dan sertifikasi keahlian di bidang HVAC.
2. Berpakaian Rapi dan Sopan : Pekerja harus berpakaian rapi dan sopan saat bekerja.
3. Bersikap Sopan dan Hormat : Pekerja harus bersikap sopan dan hormat kepada semua orang yang mereka temui.

4. Menjaga Ketepatan Waktu : Pekerja karyawan harus selalu tepat waktu dalam menyelesaikan tugas dan janji mereka.
5. Bersikap Profesional dalam Komunikasi : Pekerja karyawan harus berkomunikasi secara profesional dengan semua orang yang mereka temui.

Kewajiban pekerja harus selalu mematuhi peraturan K4L (Keselamatan, Kesehatan Kerja, Keamanan & Lingkungan) dalam semua aspek pekerjaan di dalam proyek. Hal ini termasuk:

1. Menggunakan Alat Pelindung Diri (APD): setiap pekerja harus selalu menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang tepat sesuai prosedur yang berlaku saat bekerja.
2. Mengikuti Prosedur Keselamatan: setiap pekerja harus selalu mengikuti prosedur keselamatan yang berlaku.
3. Melaporkan Kecelakaan dan Kejadian Berbahaya: setiap pekerja harus selalu melaporkan kecelakaan dan kejadian berbahaya kepada pihak yang berwenang.
4. Menjaga Lingkungan Kerja yang Aman dan Sehat: setiap pekerja harus selalu menjaga lingkungan kerja yang aman dan sehat.

Dalam metode pelaksanaan *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)*, ini diperlukannya data-data yang didapatkan dari hasil pengambilan data antara lain :

### Studi Lapangan

1. Keadaan ruangan seperti luas ruangan dan konstruksi ruangan
2. Temperatur pada ruangan dan lingkungan
3. Kelembaban pada ruangan dan lingkungan

Lalu dilanjutkan teori perhitungan dengan menggunakan rumus CLTD disesuaikan dengan posisi matahari pada masing-masing ruangan yang akan teradiasi & konduksi dari matahari sesuai pada jam masing-masing yang diperkirakan pada jam – jam tertentu, sehingga didapatkan kapasitas AC sesuai dengan Teori CLTD.

### Pengondisian Udara

Pengondisian Udara AC kantor dengan metode *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)* merupakan langkah penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang nyaman dan efisien. Metode ini membantu menentukan kebutuhan pendinginan ruangan secara akurat, sehingga memungkinkan pemilihan sistem tata udara yang tepat.

Namun, sebagai seorang insinyur, perhitungan ini bukan hanya tentang memenuhi kebutuhan kenyamanan, tetapi juga tentang menegakkan etika dan kode etik keinsinyuran. Hal ini berarti bahwa perhitungan harus dilakukan dengan kejujuran, integritas, dan tanggung jawab, serta mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan dan kenyamanan & keselamatan bagi manusia di dalamnya.

Kejujuran dalam perhitungan *CLTD* terwujud dengan menggunakan data yang akurat sesuai dengan referensi teori dari ASHRAE. (1980) *Cooling and Heating Load*

*Calculation Manual. The Office, 1980*, baik data iklim, material konstruksi, maupun beban panas internal. Integritas tercermin dalam pemilihan metode dan rumus yang tepat serta penjelasan yang jelas dan transparan dalam laporan perhitungan.

Tanggung jawab sebagai insinyur mewajibkan memilih sistem tata udara yang hemat energi dan ramah lingkungan, serta memastikan keamanan dan kesehatan pengguna dengan mempertimbangkan kualitas udara dan tingkat kebisingan.

Dengan memadukan perhitungan *CLTD* yang cermat dengan etika dan kode etik keinsinyuran, insinyur dapat menciptakan ruang kantor yang tidak hanya nyaman dan efisien, tetapi juga aman, berkelanjutan, dan bertanggung jawab.

### Kriteria AC Kantor

Menghitung kapasitas AC kantor yang tepat tidak hanya tentang kenyamanan, tetapi juga tentang menegakkan etika dan kode etik keinsinyuran. Kriteria pemilihan AC harus mempertimbangkan aspek-aspek seperti suhu dan kelembapan yang tepat di kantor penting untuk menjaga kenyamanan, kesehatan, dan produktivitas karyawan sehingga perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

- **Suhu yang terlalu tinggi** : Dapat menyebabkan rasa lelah, lesu, dan sulit berkonsentrasi.
- **Suhu yang terlalu rendah** : Dapat menyebabkan kedinginan dan kekakuan otot.
- **Kelembapan yang terlalu rendah** : Dapat menyebabkan kulit kering, mata iritasi, dan masalah pernapasan.
- **Kelembapan yang terlalu tinggi** : Dapat menyebabkan ruangan terasa pengap dan meningkatkan risiko pertumbuhan jamur.

Kriteria umum desain *Heating Ventilation Air Conditioning (HVAC)* mencakup parameter yang diperlukan untuk kenyamanan termal, Kenyamanan termal dipengaruhi oleh suhu udara, kelembapan, kecepatan udara, dan mean radiasi temperatur (MRT), serta faktor non-lingkungan seperti pakaian, jenis kelamin, usia, dan aktivitas fisik. Variabel-variabel ini dan kaitannya dengan kenyamanan termal dapat dievaluasi dengan CD Alat Kenyamanan Termal (ASHRAE 1997) bersama dengan Standar ASHRAE 55. Pedoman umum untuk suhu dan kelembapan yang berlaku pada area di gedung perkantoran ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. 2015 ASHRAE HVAC Applications SI Edition**

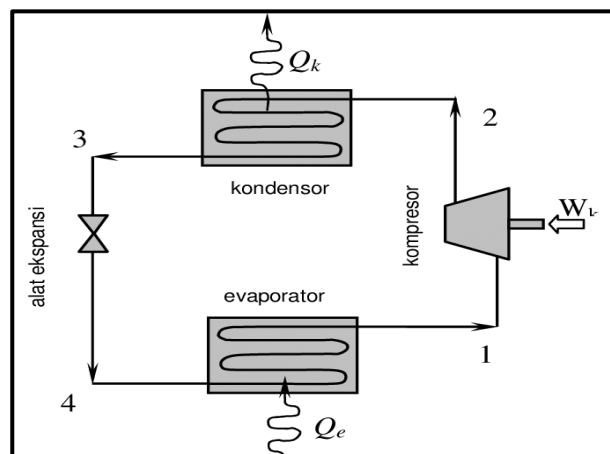
Area	Indoor Design Conditions				
	Temperature, °C		Relative Humidity, (RH)%		Comments
	Winter	Summer	Winter	Summer	
Offices, conference rooms, common	20.3 to 24.2	23.3 to 26.7	20 to 30%	50 to 60%	
Cafeteria	21.1 to 23.3	25.8	20 to 30%	50%	

Kitchen	21.1 to 23.3	28.9 to 31.1	No humidity control
Toilets	22.2		Usually not conditioned
Storage	17.8		Usually not conditioned
Mechanical rooms	16.1		Usually not conditioned

Data temperatur yang digunakan dalam studi kasus ini menggunakan desain kondisi Summer (musim panas) pada area *Offices, conference rooms, common* dengan Temperatur  $23^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$  & RH  $50\% \sim 60\%$ . Guna acuan standart desain udara luar untuk ventilasi. Udara luar dimasukkan ke dalam area yang ditempati dan kemudian dibuang melalui kipas angin atau ventilasi pembuangan, menghilangkan polutan udara dalam ruangan yang dihasilkan oleh penghuni dan sumber lain yang terkait dengan bangunan tersebut.

### Prinsip Kerja Mesin Pendingin

Prinsip kerja pengondisian udara adalah sama dengan mesin pendingin, yakni berdasar siklus kompresi uap. Yang membedakan adalah udara yang didinginkan sebagai beban melewati evaporator mesin pendingin memasuki ruangan pada kondisi *temperature* yang lebih rendah dari pada udara yang melewati mesin pengondisian udara, sementara peralatan utama yang digunakan adalah sama.



**Gambar 1. Siklus Kompresi Uap Standar**

(<https://www.researchgate.net>)

### Kompresor

Kompresor atau pompa isap mempunyai fungsi yang vital. Dengan adanya kompresor, refrigeran bisa mengalir ke seluruh sistem pendingin. Sistem kerjanya adalah dengan mengubah tekanan, sehingga terjadi perbedaan tekanan yang memungkinkan refrigeran mengalir (berpindah) dari sisi bertekanan rendah ke sisi

bertekanan tinggi. Ketika bekerja, refrigeran yang dihisap dari evaporator dengan suhu dan tekanan rendah dimampatkan sehingga suhu dan tekanannya naik. Gas yang dimampatkan ini ditekan keluar dari kompresor lalu dialirkan ke kondensor.

## Kondensor

Kondensor berfungsi untuk membuang kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor, serta mengubah wujud gas menjadi cair, kondensor memiliki pipa-pipa yang dapat dibersihkan.

## Katup Ekspansi

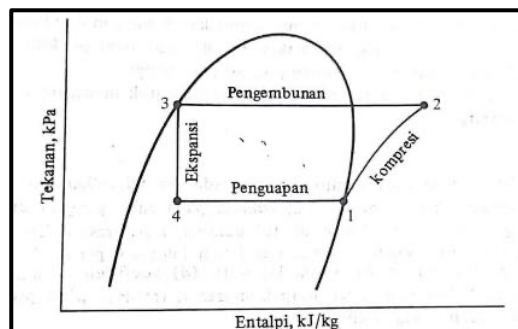
Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini dipergunakan untuk menurunkan tekanan dan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat tekanan dan temperatur rendah, atau mengekspansikan refrigeran cair dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi, refrigeran cair diinjeksikan keluar melalui orifice, refrigeran segera berubah menjadi kabut yang tekanan dan temperaturnya rendah.

## Evaporator

Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor, serta bertugas menguapkan refrigeran dalam sistem, sebelum dihisap oleh kompresor. Panas udara sekeliling diserap evaporator yang menyebabkan suhu udara di sekeliling evaporator turun. Suhu udara yang rendah ini dipindahkan ketempat lain dengan jalan dihembus oleh kipas, yang menyebabkan terjadinya aliran udara.

## Diagram Kompresi Uap Standar

Kompresi Uap Standar Adalah diagram yang digunakan untuk menganalisis keadaan termodinamis *refrigerant* di dalam siklus refrigerasi. Dimana garis tegak untuk menyatakan tekanan (P), dan garis mendatar digunakan untuk menyatakan entalpi (h), maka diagram ini disebut juga diagram P-h. hal tersebut dapat dilihat dalam sajian gambar 2.10



**Gambar 2. Diagram Kompresi Uap Standar**

(Sumber : Refrigerasi dan Pengondisian Udara, hal 187)

Besaran-besaran dapat dihitung dengan diagram Mollier, meliputi:

### Kalor yang diserap Evaporator

Kalor yang diserap evaporator adalah sejumlah kalor yang akan diserap oleh evaporator persatuan kilogram *refrigerant* yang mengalir selama proses 4-1. Proses ini dihitung dengan persamaan :

$$q_e = (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana :
- q<sub>e</sub> = efek refrigerasi (kJ/kg)
  - h<sub>1</sub> = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)
  - h<sub>4</sub> = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

### Kerja yang diperlukan untuk kompresi (kalor kompresi)

Kerja kompresi terhadap satu kilogram *refrigerant* yang mengalir sama dengan kenaikan entalpi yang terjadi selama proses ke 1 dan 2, sehingga :

$$q_k = (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2)$$

- Dimana :
- q<sub>k</sub> = kalor kompresi (kJ/kg)
  - h<sub>2</sub> = entalpi keluar kompresor (kJ/kg)
  - h<sub>1</sub> = entalpi masuk kompresor (kJ/kg)

### Kalor yang dilepaskan kondensor (kalor kondensasi)

Dari kesetimbangan energi, maka kalor yang akan dilepaskan oleh kondensor besarnya adalah sama dengan penjumlahan antara kalor yang diserap oleh evaporator dan kalor yang diperlukan kompresi, sehingga :

$$q_c = (h_2 - h_3) \dots\dots\dots (3)$$

- Dimana :
- q<sub>c</sub> = kalor yang dilepaskan kondensor (kJ/kg)
  - h<sub>2</sub> = entalpi masuk kondensor (kJ/kg)
  - h<sub>3</sub> = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

### Jumlah massa *refrigerant* yang bersirkulasi

Hal ini adalah merupakan jumlah *refrigerant* yang dimasukkan dan diupkan oleh evaporator, sedangkan kapasitas refrigerasi diperoleh dari perkalian antara massa *refrigerant* yang mengalir dengan kalor evaporasi.

$$Q_{ac} = m(h_1 - h_4) \dots\dots\dots (4)$$

Sehingga massa *refrigerant* yang bersirkulasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$m = \frac{Q_{ac}}{h_1 - h_4} \dots\dots\dots (5)$$

- Dimana :
- m = laju aliran massa *refrigerant* (kg/s)
  - Q<sub>ac</sub> = kapasitas *refrigerasi* (kW)
  - h<sub>1</sub> = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)
  - h<sub>4</sub> = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

### Koefisien Prestasi (Coefficient of Performance, COP)

Koefisien ini berguna untuk menyatakan efisiensi dari keseluruhan siklus refrigerasi.

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana : COP = Coefficient of Performance  
h1 – h4 = kalor evaporasi (kJ/kg)  
h2 – h1 = kalor kompresi (kJ/kg)

## Psikometrik

Istilah psikrometrik berkaitan erat dengan sifat termodinamika udara basah (udara kering dan uap air) dan dapat dimanfaatkan untuk menganalisis kondisi dan proses-proses yang melibatkan udara basah. Dalam perancangan sistem tata udara, psikrometrik dapat digunakan untuk menentukan kondisi dan debit udara catu, kondisi udara keluar koil pendingin, kondisi udara masuk koil pendingin, *bypass factor*, temperatur titik embun alat (*apparatus dew point*), dan beban total yang harus ditanggung oleh koil pendingin. Hasil perhitungan debit udara catu, dikombinasikan dengan hasil perhitungan beban tiap ruangan, dapat dimanfaatkan untuk menentukan rancangan saluran udara dan memilih kipas udara yang sesuai dengan kebutuhan. Kondisi udara catu, kondisi udara keluar koil pendingin, kondisi udara masuk koil pendingin, *bypass factor*, dan temperatur titik embun alat dapat dimanfaatkan untuk menentukan kondisi kerja mesin pendingin. Hasil perhitungan beban total koil (jumlah dari beban ruangan dan beban ventilasi) dapat dimanfaatkan untuk memilih mesin refrigerasi yang sesuai.

Pada beberapa proses tata udara kandungan air sengaja disingkirkan dari udara tetapi pada proses yang lain air ditambahkan. Prinsip psikometri akan diterapkan pada proses perhitungan beban dan pada sistem-sistem lainnya.

### a. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Perbandingan fraksi molekul uap air di dalam basah terhadap molekul uap air jenuh pada suhu dan tekanan yang sama. RH adalah suatu pengukuran dari tingkat kandungan uap air dalam udara pada *temperature* bola kering yang diekspresikan dalam bentuk persentase uap air. Jika terdapat 100 % RH maka mengindikasikan udara kering sempurna. RH sering dipakai untuk mendesain sistem pengondisi udara suatu ruangan.

### b. Rasio Kelembaban (*Humidity Ratio*)

Adalah berat atau massa air yang terkandung di dalam setiap satu kilogram udara kering “w = kg uap air/ kg udara”. Sering digunakan untuk mendesain komponen tata udara seperti evaporator dan kondensor

### c. Volume Spesifik

Adalah volume udara campuran dengan satuan (m<sup>3</sup>/ kg) udara kering.

### d. Temperatur Bola Kering

Temperatur tersebut dapat dibaca pada *thermometer* dengan sensor kering dan terbuka, namun penunjukannya tidaklah tepat karena adanya pengaruh radiasi panas, kecuali jika sensornya memperoleh ventilasi yang cukup baik.

### e. Temperatur Bola Basah

Dalam hal ini digunakan *thermometer* yang dibalut dengan kain basah untuk menghilangkan pengaruh radiasi panas. Namun perlu diperhatikan bahwa melalui sensor harus terjadi aliran udara sekurang-kurangnya 5 m/s. Temperatur bola basah kadang-kadang dinamai *temperature jenuh adiabatic* (*Adiabatic Saturated Temperature*).

f. Titik Embun

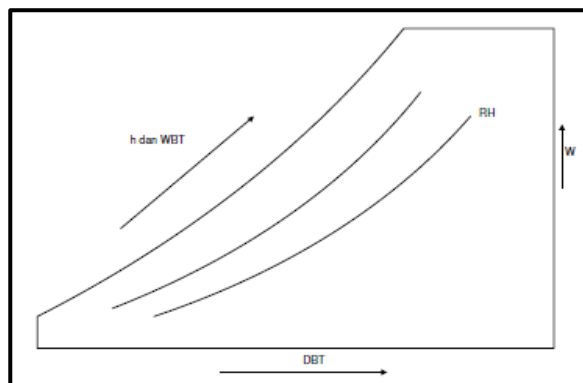
Titik embun adalah temperatur air pada keadaan dimana tekanan uapnya sama dengan tekanan uap dari udara (lembab). Jadi, pada *temperature* tersebut uap air dalam udara mulai mengembun dan hal tersebut terjadi apabila udara (lembab) didinginkan.

g. Entalphi

Entalphi adalah energi kalor yang dimiliki oleh suatu zat pada suatu temperatur tertentu.

### Diagram Psikometrik

Gambar 3 menunjukkan diagram psikrometrik sederhana. Sumbu datar di bagian bawah menyatakan temperatur tabung kering udara. Sumbu tegak di sebelah kanan menyatakan rasio kelembaban udara, yang merupakan perbandingan antara berat uap air yang terkandung di udara dengan berat udara kering. Pada sumbu tegak ini sering kali ditambah pula skala rasio kalor sensibel atau *sensible heat ratio*, SHR. Pada bagian kiri dengan arah miring terdapat skala entalpi dan temperatur tabung basah. Selanjutnya, garis-garis lengkung di dalam diagram adalah skala kelembaban relatif atau *relative humidity*, RH.



**Gambar 3. Diagram Psikometrik**

(Sumber : Memahami Tata Udara melalui Psikrometri, hal 21)

Nama-nama besaran, simbol, dan satuan yang terdapat pada diagram psikrometri ditabelkan pada Tabel Keterangan simbol pada diagram psikrometrik.

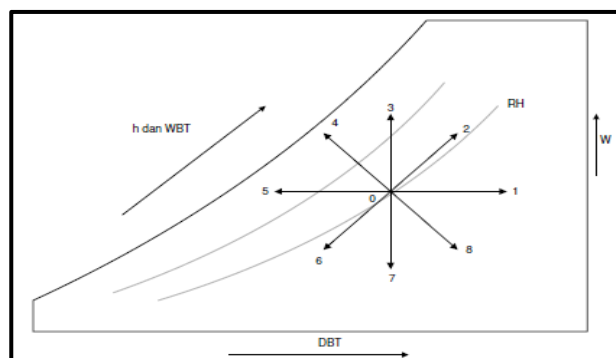
**Tabel 2. Keterangan simbol pada diagram psikrometrik**

Besaran	Simbol	Satuan
Temperatur tabung kering	tdb	°C atau °F
Temperatur tabung basah	twb	°C atau °F

Entalpi	h	KJ/kg atau Btu/lb
Rasio kelembaban	W	Kg uap/kg udara atau lb uap/lb udara
Volume spesifik	V	m <sup>3</sup> /kg atau ft <sup>3</sup> /lb
Kelembaban relatif	RH	%

## Proses Psikometrik

Proses yang dialami oleh udara secara umum ada 8 macam. Proses-proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.12. Proses-proses tersebut dapat berupa pemanasan, pendinginan, pelembaban (humidifikasi), pengurangan kelembaban (dehumidifikasi), atau kombinasi ([7] Andriyanto Setyawan, 2022).



**Gambar 4. Diagram Proses Psikometrik**

(Sumber : Memahami Tata Udara melalui Psikrometri, hal 21)

Proses yang dialami oleh udara secara umum ada 8 macam. Proses-proses tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- Proses 0-1 pemanasan sensibel terjadi atau pengurangan uap air. Ini terjadi pada udara yang melewati koil pemanas
- Proses 0-2 pemanasan dan humidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pemanasan dengan penambahan uap air. Ini terjadi pada udara yang mendapat semprotan air dengan temperatur lebih tinggi dibanding temperatur tabung udara kering.
- Proses 0-3 humidifikasi terjadi pada udara yang tidak mengalami pemanasan atau pendinginan tetapi terjadi penambahan uap air. Ini terjadi pada udara yang mendapat semprotan air dengan temperatur sama dengan temperatur tabung udara kering (dalam kenyataan proses humidifikasi murni sulit terjadi)
- Proses 0-4 pendinginan dan humidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pendinginan dan penambahan uap air. Proses ini terjadi pada udara yang mendapat semprotan air alami.
- Proses 0-5 pendinginan sensibel terjadi pada udara yang mengalami pendinginan tanpa penambahan atau pengurangan uap air. Proses ini terjadi pada udara yang didinginkan oleh koil yang temperaturnya lebih rendah dibanding temperatur tabung keringnya tetapi sama atau lebih tinggi

daripada temperatur titik embunnya.

- f. Proses 0-6 pendinginan dan dehumidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pendinginan dengan pengurangan uap air. Proses ini terjadi pada udara yang didinginkan oleh koil yang tempraturnya lebih rendah dibanding temperatur titik embunnya.
- g. Proses 0-7 dehumidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pengurangan uap air tanpa pemanasan atau pendinginan. Proses ini terjadi pada udara yang melewati *dehumidifier* seperti *silica gel* (meskipun dalam kenyataan proses dehumidifikasi murni ini sulit untuk terjadi).
- h. Proses 0-8 pemanasan dan dehumidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pemanasan dan pengurangan uap air. Proses ini terjadi pada udara yang melewati koil pemanas dan *dehumidifier*.

### **Perhitungan Beban Pendinginan Metode (CLTD)**

Beban pendingin adalah beban yang harus ditanggung oleh peralatan pendingin karena adanya sumber – sumber kalor baik dari dalam ruangan maupun di luar ruangan yang hendak dikondisikan. Pada tahap perencanaan, perhitungan beban pendinginan yang tepat harus dilakukan karena hasil perhitungan beban pendinginan yang tepat akan menjadi dasar untuk pemilihan jenis dan kapasitas peralatan pendinginan. Prosedur yang rumit ini memperhitungkan massa termal dan waktu hunian, dan memerlukan pertimbangan jam mana yang mungkin paling kritis. oleh karena itu, metode penghitungan beban pendinginan *Cooling Load Temperature Differences* (CLTD) yang lebih tepat (berdasarkan ASHARE Handbook of Fundamentals, 1981) hanya dapat digunakan jika informasi berikut tersedia ([8] Benjami Stein, 1986).

1. Karakteristik jenis bangunan: bahan, ukuran, warna permukaan luar, dan bentuk.
2. Lokasi dan orientasi bangunan, serta luas naungan eksternal bangunan oleh pohon atau struktur yang berdekatan.
3. Kondisi desain luar ruangan.
4. Kondisi desain dalam ruangan : DB, WB, dan tingkat ventilasi.
5. Jadwal pencahayaan, hunian, peralatan, dan proses lain yang berkontribusi terhadap perolehan panas internal.
6. Ikatan hari dan bulan untuk menghitung beban pendinginan. penentuan faktor ini mungkin memerlukan perbandingan awal yang cepat antara dampak relatif dari perolehan matahari melalui atap dan kaca pada berbagai orientasi.
7. Persyaratan zonasi.

### **Beban Eksternal**

Beban eksternal yaitu beban yang berasal dari luar ruangan yang dikondisikan atau yang berhubungan langsung dengan lingkungan. Beban pendinginan eksternal terdiri atas beban kalor yang ditimbulkan oleh atap, dinding, kaca dan lantai. Beban-beban pada atap, dinding, kaca dan lantai dapat diperoleh dengan persamaan-

persamaan sebagai berikut.

## a. Beban Melalui Atap

$$q = U \times A \times CLTD_{corr} \text{ ([9] ASHARAE, 1980)}$$

Dimana :

Q = Beban pendingin atap, (Btu/hr)

U = Koefisien perpindahan panas pada atap, (Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F)

A = Luas atap, (ft<sup>2</sup>)

CLTD<sub>corr</sub> = Perbedaan temperatur antara perancangan dan beban- beban yang ada

Untuk mencari CLTD<sub>corr</sub> atap bisa menggunakan persamaan berikut:

$$CLTD_{corr} = [(CLTD + LM) \times K + ((78 - T_r) + (T_o - 85))] \times f$$

Dimana:

CLTD = Cooling load temperatur different

LM = Latitude and Month

K = Faktor penggunaan warna, (1,0 if dark colored)

T<sub>o</sub> = Temperatur udara luar, (°F)

T<sub>r</sub> = Temperatur rancangan, (°F)

f = Faktor untuk saluran diatas plafon (0,75 if positive ventilation)

## b. Beban Melalui Dinding

$$q = U \times A \times CLTD_{corr}$$

Dimana :

q = Beban pendingin dinding, (Btu/hr)

U = Koefisien perpindahan kalor dinding, (Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F)

A = Luas permukaan dinding yang terkena radiasi matahari, (ft<sup>2</sup>)

CLTD<sub>corr</sub> = Perbedaan temperatur antara perancangan dan beban-beban yang ada

Untuk mencari CLTD<sub>corr</sub> dinding bisa menggunakan persamaan berikut:

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM) \times K + (78 - T_r) + (T_o - 85)$$

Dimana:

CLTD = Cooling load temperatur different

LM = Latitude and Month

K = Faktor penggunaan warna, (0,65 if permanently light colored)

T<sub>o</sub> = Temperatur udara luar, (°F)

T<sub>r</sub> = Temperatur rancangan, (°F)

## c. Beban Melalui Kaca Konduksi

$$q = U \times A \times CLTD$$

Dimana :

q = Besarnya kalor yang diterima kaca, (Btu/hr)

U = Koefisien perpindahan kalor untuk kaca, (Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F)

A = Luas permukaan kaca, (ft<sup>2</sup>)

CLTD = Cooling Load Temperature Difference

## d. Beban Radiasi melalui Kaca

$$q = A \times SC \times SHGF_{max} \times CLF$$

Dimana :

- q = Beban pendingin kaca melalui radiasi, (Btu/hr)
- A = Luas permukaan kaca, (ft<sup>2</sup>)
- SC = *Shading Coefficient* untuk tipe-tipe kaca
- SHGF = *Solar Heat Gain Factor*
- CLF = *Cooling Load Factor*

## e. Beban melalui Partisi, Langit-langit dan Lantai

$$q = U \times A \times \Delta T$$

Dimana :

- q = Beban pendingin partisi, langit-langit dan lantai, (Btu/hr)
- U = Koefisien perpindahan kalor untuk dinding, (Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F)
- A = Luas permukaan dinding, (ft<sup>2</sup>)
- $\Delta T = (T_o - T_r) =$  Perbedaan temperatur antara perancangan (Tr) dengan ruang bersebelahan (To), (°F)

## Beban Internal

### a. Beban Penerangan (Lampu)

$$q = 3,41 \times q_i \times F_u \times F_s \times CLF$$

Dimana :

- q = Beban pendingin penerangan, (Btu/hr)
- q<sub>i</sub> = Daya input total lampu, (Btu/hr)
- F<sub>u</sub> = Faktor dari lampu yang menyala, (F<sub>u</sub> = 1 karena seluruh lampu menyala)
- F<sub>s</sub> = *Ballast factor*
- CLF = *Cooling Load Factor*

### b. Beban Penghuni

Beban yang ditimbulkan akibat aktivitas manusia dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$q_s = n \times Sens. HG \times CLF$$

$$q_l = n \times Lat. HG$$

Dimana :

- q<sub>s</sub> = Beban sensible, (Btu/hr)
- q<sub>l</sub> = Beban latent, (Btu/hr)
- n = Jumlah orang
- Sens. HG = *Sensibel Heat Gain*
- Lat. HG = *Laten Heat Gain*
- CLF = *Cooling Load Factor*

### c. Beban Peralatan

$$q_s = C_s \times q_r \times CLF$$

$$ql = Cl \times qr$$

Dimana :

qs = Beban sensible, (Btu/hr)

ql = Beban latent, (Btu/hr)

Cs/Cl = Koefisien untuk peralatan

qr = Daya input total peralatan, (Btu/hr)

CLF= *Cooling Load Factor*

#### d. Beban Kalor dari Ventilasi

$$q_s = 1,1 \times Q \times \Delta T$$

$$q_l = 4840 \times Q \times \Delta W$$

Dimana :

qs = Laju perpindahan kalor sensibel udara ventilasi, (Btu/hr)

ql = Laju perpindahan kalor laten udara ventilasi, (Btu/hr)

Q = Volume aliran udara, (CFM)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara luar dan temperature rancangan, ( $^{\circ}F$ )

$\Delta W$  = Perbedaan rasio kelembaban antara udara luar dan udara dalam Ruangan

#### e. Beban Kalor dari Infiltrasi

$$q_s = 1,1 \times CFM \times \Delta T$$

$$q_l = 4840 \times CFM \times \Delta W$$

Dimana :

qs = Laju perpindahan kalor sensibel udara infiltrasi, (Btu/hr)

ql = Laju perpindahan kalor laten udara infiltrasi, (Btu/hr)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara luar dan *temperature* rancangan, ( $^{\circ}F$ )

$\Delta W$  = Perbedaan rasio kelembaban antara udara luar dan udara dalam ruangan

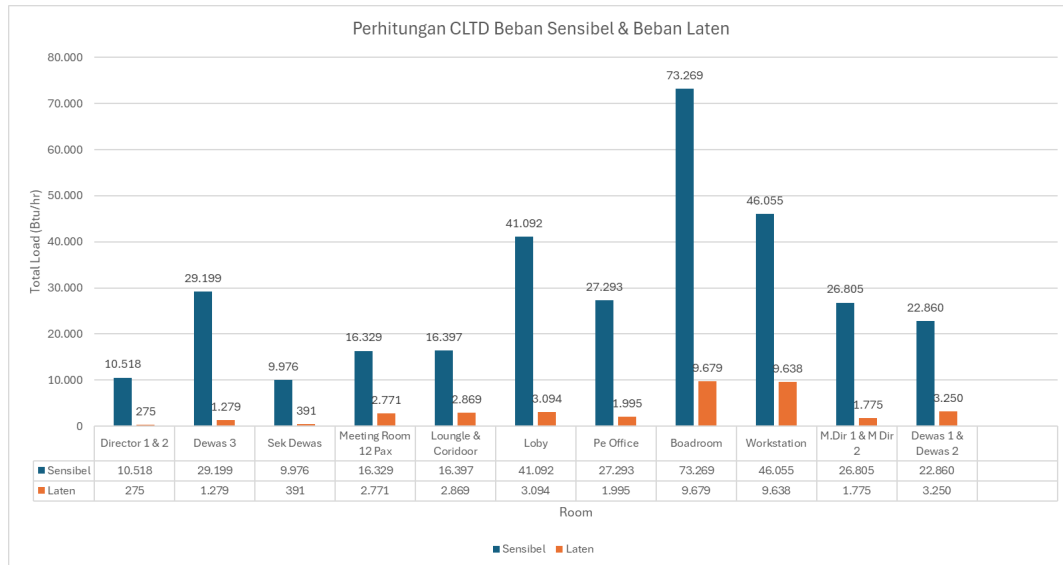
$$CFM = ACH \times Volume (ft^3) / 60$$

CFM = *Air Conditioning Principles and Systems*, Edward G. Pita, hal 156

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Perhitungan Beban *Sensible* & Beban *Latent* CLTD

Berikut adalah hasil perhitungan beban *sensible*, beban *latent* & beban total pada tiap kamar hotel dengan perhitungan CLTD.



**Gambar 5. Beban CLTD *Sensibel*, *Laten* & Total**

Dari grafik hasil perhitungan CLTD di atas dapat dilihat bahwa beban *sensibel* tertinggi berada pada ruangan *Boadroom* diantara beban *sensibel* ruangan lain yaitu sebesar 73.269 Btu/hr, ini disebabkan karena adanya pengaruh dari luas dinding, luas kaca, luas *ceiling*, jumlah peralatan, penerangan dan penghuni yang pada tiap ruangan berbeda-beda. Sedangkan beban *latent* tertinggi terdapat pada ruangan *boadroom* 9.679 Btu/hr, ini disebabkan karena jumlah peralatan, penerangan dan penghuni pada tiap ruangan berbeda-beda.

**Tabel 3. Total Kapasitas AC CLTD**

Kamar	Jumlah	Kapasitas CLTD		
		Sensibel	Laten	Total BTU/H
Director 1 & 2	1	10.518	275	10.793
Dewas 3	1	29.199	1.279	30.478
Sek Dewas	1	9.976	391	10.367
Meeting Room 12 Pax	1	16.329	2.771	19.100
Lounge & Coridoor	1	16.397	2.869	19.266
Loby	1	41.092	3.094	44.187
Pe Office	1	27.293	1.995	29.288
Boadroom	1	73.269	9.679	82.948
Workstation	1	46.055	9.638	55.692
M.Dir 1 & M Dir 2	1	26.805	1.775	28.580
Dewas 1 & Dewas 2	1	22.860	3.250	26.111
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>319.793</b>	<b>37.016</b>	<b>356.810</b>

Pada tabel 3 Total kapasitas AC CLTD dari total semua ruangan total kapasitas pendingin adalah total kapasitas pendingin untuk semua ruangan di satu lantai adalah

356.810 BTU/H. Kapasitas ini dihitung berdasarkan kebutuhan internal dan eksternal ruangan, serta mempertimbangkan aspek keselamatan, kesehatan, keamanan kerja, dan lingkungan (K4L) yang tercantum dalam Catur Karsa dan Sapta Dharma.

Kapasitas pendingin yang memadai akan memastikan kenyamanan dan kesehatan para penghuni ruangan. Hal ini sejalan dengan prinsip kemanusiaan yang adil dan beradab dalam Catur Karsa dan Sapta Dharma. Selain itu, kapasitas pendingin yang tepat juga akan membantu menjaga keselamatan dan keamanan para penghuni ruangan dengan mencegah terjadinya kebakaran atau kecelakaan lainnya.

Penggunaan sistem pendingin yang ramah lingkungan juga merupakan aspek penting dalam K4L. Hal ini dapat dicapai dengan memilih sistem pendingin yang hemat energi dan menggunakan refrigeran yang tidak berbahaya bagi lingkungan.

## **Kebermanfaatan**

Perancangan tata udara menggunakan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD) menawarkan berbagai manfaat signifikan dalam studi kasus proyek X yaitu sebagai berikut :

1. Metode CLTD menghasilkan desain yang lebih hemat energi dibandingkan metode menggunakan *software* yang lebih besar secara perhitungan, sehingga dapat membantu mengurangi biaya operasional dan emisi karbon.
2. Metode CLTD memungkinkan perancangan sistem yang lebih fleksibel dan mudah beradaptasi dengan perubahan kebutuhan di masa depan. Hal ini penting untuk proyek X yang memiliki potensi untuk berkembang atau berubah fungsinya di masa depan.
3. CLTD mendorong penggunaan teknologi inovatif dan ramah lingkungan dalam sistem tata udara, seperti penggunaan refrigeran alami dan sistem kontrol cerdas.

## **Kemandirian**

Penerapan metode CLTD dalam studi kasus proyek X menunjukkan kemandirian dalam hal desain dan teknologi. Tim proyek tidak bergantung pada solusi standar atau vendor tertentu, melainkan mampu mengembangkan solusi yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek.

Kemandirian ini juga terlihat dalam penggunaan sumber daya lokal dan tenaga kerja ahli lokal, yang berkontribusi pada pengembangan ekonomi lokal dan mengurangi ketergantungan pada pihak luar.

## **Inovasi**

Studi kasus proyek X menjadi contoh nyata penerapan metode CLTD yang inovatif dan kreatif. Tim proyek berani keluar dari kotak dan mengeksplorasi solusi baru untuk mengatasi tantangan desain yang kompleks. Inovasi ini menghasilkan sistem tata udara yang tidak hanya efisien dan efektif, tetapi juga estetis dan sesuai dengan konteks arsitektur bangunan.

Secara keseluruhan, perancangan tata udara dengan metode CLTD pada studi kasus proyek X menunjukkan kebermanfaatan, kemandirian, dan inovasi yang patut dicontoh.

Penerapan metode ini dapat memberikan kontribusi positif bagi keberlanjutan lingkungan, kemandirian nasional, dan kemajuan teknologi di bidang teknik bangunan.

## KESIMPULAN

Perancangan sistem pendinginan dengan metode CLTD pada laporan studi kasus ini menunjukkan hasil yang optimal dan sesuai dengan kebutuhan. Kapasitas AC yang dihitung dengan tepat dan pertimbangan faktor K4L menghasilkan sistem pendinginan yang efisien, aman, dan ramah lingkungan sebagai berikut :

1. Kapasitas AC CLTD 356.810 BTU/H cukup untuk memenuhi kebutuhan pendinginan semua ruangan di satu lantai.
2. Metode CLTD memastikan sistem pendinginan yang hemat energi, fleksibel, dan ramah lingkungan.
3. Faktor K4L dipertimbangkan untuk memastikan keamanan dan kesehatan pengguna ruangan.

Beberapa pelajaran berharga dapat dipetik dari studi kasus proyek X, antara lain:

1. Metode CLTD merupakan alat yang efektif untuk merancang sistem tata udara yang hemat energi, fleksibel, dan ramah lingkungan.
2. Pentingnya penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam desain dan konstruksi bangunan.
3. Keberhasilan proyek dapat dicapai dengan kolaborasi yang baik antara tim desain, kontraktor, dan pengguna.
4. Pentingnya dokumentasi dan *sharing* pengetahuan untuk meningkatkan kualitas desain dan praktik di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, W., & Saito, H. (2005). *Penyegaran udara* (7th ed.). Penerbit PT Pradnya Paramita.

ASHRAE. (1980). *Cooling and heating load calculation manual*. The Office.

ASHRAE. (1999). *ASHRAE applications handbook (SI)*. (R. A. Parsons, Ed.) 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329: ASHRAE.

ASHRAE. (2016). *ASHRAE handbook 2016*. (M. S. Owen, Ed.) 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329: ASHRAE.

Carrier Air Conditioning Company. *Handbook of air conditioning system design*.

Freedman, B., Butterfield, R. O., & Pryde, E. H. (1986). Transesterification kinetics of soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(10), 1375-1380.

- Komarudin, I. (2021). *Heat transfer (heat transfer)*. Jakarta, Indonesia: UNDIRA.
- Komarudin. (2010, July). Air flow simulation in the weighing room. *Precision*, 11(2), 2.
- Marjianto, A., & Mangaindaan, D. (2020). Air conditioning system design viewed from energy and cost aspects in hotel buildings in Semarang. *Engineering, Mathematics and Computer Science*, 97-106.
- Pita, E. G. (2002). *Air conditioning principles and systems* (4th ed.). Prentice Hall.
- Setyawan, A. (2022). *Understanding air conditioning through psychometrics*. Sleman: Deepublish.
- Stein, B. (1986). *Mechanical and electrical equipment for buildings*. Canada: John Wiley & Sons.
- Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (2005). *Refrigeration and air conditioning*. Jakarta: Erlangga.