

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Dalam (Undang-Undang No 30 Tahun 2007), disebutkan bahwa energi merupakan kemampuan suatu benda/objek dalam upaya melakukan kerja yang dapat berupa energi termal, nuklir, mekanika, kimia, dan elektromagnetik. Menurut Undang-Undang No 30 Tahun 2007 Pasal 2 dijelaskan bahwa energi dikelola oleh pemerintah dengan memperhatikan asas-asas yang dapat mensejahterakan makhluk hidup yang dapat menggunakan energi tersebut. Energi merupakan bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam kehidupan ber-masyarakat karena semua aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Sumber energi sendiri dikelola oleh negara dan dapat dimanfaatkan masyarakat dalam menunjang kehidupan sehari-hari.

Terdapat banyak sekali sumber energi yang ada di bumi ini, baik itu tak terbarukan dan terbarukan. Dengan semakin majunya perkembangan teknologi kini banyak masyarakat mulai menggunakan sumber energi terbarukan dalam membantu aktivitasnya. Salah satu pemanfaatan sumber energi terbarukan adalah aliran air, udara, panas matahari yang dapat digunakan sebagai bahan pembangkit listrik. Akan tetapi masih banyak penggunaan energi tak terbarukan dalam kehidupan sehari-hari yaitu, minyak bumi, fosil, dan gas alam.

2.2 Sistem Pengkondisian Udara

Sistem pengkondisian udara merupakan suatu sistem yang bekerja untuk mengatur kondisi udara (temperatur dan kelembaban) dalam suatu ruangan, agar didapatkan kualitas udara yang bagus dan nyaman bagi penghuni di dalam ruangan tersebut. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) disebutkan bahwa standar kenyamanan dalam suatu ruangan berkisar diantara $24 - 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ serta nilai kelembaban udara berkisar $55 - 56\%$. Untuk dapat memenuhi standar kriteria nyaman bagi suatu ruangan maka diperlukan peralatan tambahan agar kondisi

ruangan dapat digunakan dengan nyaman yaitu, sistem pengkondisian udara AC (*Air Conditioning*)(SNI, 2001).

Untuk mendapatkan standar suhu, kelembaban dan tekanan udara yang sesuai dengan suatu ruangan, maka perlu mengikuti standar yang sudah ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI-6389, 2011) yang mengatur tentang konservasi energi pada sistem tata udara bangunan gedung.

Tabel 2.1 Standar Temperatur dan Kelembaban

No.	Kriteria	Temperatur	Kelembaban
		(°C)	(%)
1	Ruang Kerja	24 – 27	60
2	Lobi, Koridor	27 – 30	60
3	Ruang perawatan	24 – 27	60

*) (Suhendar dkk, 2013)

Pada era globalisasi ini sudah banyak gedung-gedung modern yang menggunakan berbagai cara agar dapat memberikan kenyamanan bagi penghuni dan tamu. Fasilitas yang diberikan oleh gedung/hotel tersebut dalam hal kenyamanan disebut dengan *utilitas* (kelengkapan fasilitas dari suatu bangunan) gedung, dengan penyebaran konsumsi listrik dan sistem pengkondisian udara (AC) merupakan penyumbang konsumsi energi terbesar. Terdapat dua jenis dalam sistem pengkondisian udara yaitu, Sistem pengkondisian udara langsung (*Direct Cooling*) dan sistem pengkondisian udara tak langsung (*Indirect Cooling*).

2.2.1 Sistem Pengkondisian Udara Langsung (*Direct Cooling*)

Sistem pengkondisian udara jenis ini bekerja dengan cara menurunkan suhu oleh *refrigeran*, setelah itu dimasukkan/dialirkan ke dalam ruangan yang tidak mempunyai ventilasi/infiltrasi. Untuk jenis alat pengkondisian udara (AC) yang sering digunakan pada jenis *Direct Cooling* adalah AC dengan kapasitas yang kecil seperti AC *Window* dan AC *Split*.

2.2.2 Sistem Pengkondisian Udara Tak Langsung (*Indirect Cooling*)

www.itk.ac.id

Berbanding terbalik dengan sistem pengkondisian udara langsung, pada sistem pengkondisian udara tak langsung (*Indirect Cooling*) menggunakan *refrigerant* tipe *chilled water* yang dihasilkan di dalam *chiller* (mesin pembuat es yang menggunakan *refrigerant* sebagai zat pendinginnya). Adapun suhu yang dihasilkan dengan menggunakan *refrigerant* tipe *chilled water* berkisar di 50 °C.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), konservasi energi pada sistem tata udara bangunan merupakan upaya yang dilakukan pemerintah Indonesia dalam menghemat penggunaan energi dan melestarikan sumber daya energi. Serta dapat meningkatkan penggunaan yang efisien tanpa harus mengorbankan kenyamanan termal bagi manusia (SNI, 2011).

2.3 Jenis-Jenis Alat Pengkondisian Udara

Air Conditioning (AC) merupakan alat pengkondisian udara yang banyak digunakan dalam sebuah bangunan, baik itu gedung, rumah, dan sebagainya. Sistem pengkondisian udara (AC) terdiri dari berbagai jenis diantaranya adalah sebagai berikut, AC *split*, AC *cassette*, AC *window*, AC *standing*, AC *split duck*, AC *central*.

2.3.1 AC Split

AC *Split* merupakan alat yang paling sering digunakan, karena mudah dalam hal pemasangan. AC jenis ini mampu mengatur kondisi termal dalam suatu ruangan sesuai dengan keinginan dari penggunaannya. Pada AC jenis *split* terdapat komponen-komponen yang mengatur kerja dari AC itu sendiri yaitu bagian *indoor* dan bagian *outdoor*. Pada bagian *indoor* terdapat lima komponen utama yaitu, evaporator, *blower*, *filter* udara, katup ekspansi, dan *control unit*. Sedangkan pada bagian *outdoor* terdapat beberapa komponen yaitu, kompresor, kondensor, kondensor *blower*, dan *refrigerant filter*. AC dengan jenis *split* sangat cocok untuk digunakan pada ruangan yang membutuhkan kenyamanan, seperti apartment, ruang kerja, dan perpustakaan (Agustin, 2015).

www.itk.ac.id



Gambar 2.1 AC *Split* (Susanto dkk, 2017)

2.3.2 AC *Cassette*

AC *cassette* merupakan AC yang bagian evaporatornya dipasang pada langit-langit bangunan. AC *cassette* sendiri memiliki bentuk dan daya yang berbeda-beda mulai dari 1,5 PK hingga 6 PK. Pada Gambar 2.2 AC *cassette* terletak di langit-langit ruangan, untuk memasang AC jenis ini diperlukan tenaga khusus atau orang yang ahli dalam memasang AC ini, tidak seperti memasang AC jenis *split* yang dapat dipasang dengan mudah (Saputra, 2018).



Gambar 2.2 AC *Cassette* (Susanto dkk, 2017)

2.3.3 AC *Window*

AC *Window* merupakan jenis AC yang semua komponen utamanya terpasang dalam satu *base plate*. Setelah itu *base plate* beserta semua komponen AC tersebut dimasukkan kedalam kotak plat sehingga menjadi satu unit kesatuan. AC *window* adalah AC yang penerapan sistem pengkondisian udaranya berfokus

pada ruangan berukuran kecil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 unit AC ini dibuat dengan ukuran kecil agar sesuai dengan ukuran jendela (Saputra, 2018).



Gambar 2.3 AC Window (Susanto dkk, 2017)

2.3.4 AC Standing

AC *standing* dan AC *split* merupakan jenis AC yang hampir semua komponen dan cara kerjanya memiliki kemiripan. Perbedaan diantara keduanya adalah pada AC jenis *split* unit *indoor* terpasang di dinding. Seperti pada Gambar 2.4 AC *Standing* diletakkan di dalam ruangan langsung dan dapat dipindah-pindah. Perbedaan antara AC *standing* dengan AC *split* terletak pada kapasitasnya, dimana pada AC jenis *standing* memiliki kapasitas lebih besar. Pada pengaplikasiannya AC *standing* banyak digunakan untuk kegiatan yang bersifat sementara (Susanto dkk, 2017).



Gambar 2.4 AC Standing (Susanto dkk, 2017)

2.3.5 AC Split Duct

AC *split duct* merupakan jenis AC yang pendistribusian udaranya menggunakan sistem *ducting*. Pada AC *split duct* pengaturan suhunya dilakukan/dikontrol pada satu titik. Pengaplikasian AC jenis ini banyak dimanfaatkan pada gedung-gedung dengan ruangan yang cukup luas. Pada Gambar 2.5 AC *split duct* menggunakan sistem *ducting* yang merupakan suatu material yang berfungsi untuk mendistribusikan udara ke arah/ruangan yang dikondisikan dengan mempertimbangkan dimensi dan media penyalur yang digunakan sebagai media pendistribusian udara. Semakin pesatnya perkembangan teknologi tuntutan desain *ducting* untuk AC yang lebih kompetibel dan efisien lebih diminati di pasaran. (Susanto dkk, 2017).



Gambar 2.5 AC *Split Duct* (Susanto dkk, 2017)

2.4 Kenyamanan Termal

Indonesia merupakan negara yang mempunyai dua iklim yaitu, hujan dan panas oleh karena itu Indonesia disebut sebagai negara beriklim tropis. Dikarenakan tidak menentukanya iklim di suatu negara tropis sangat sulit untuk menentukan tingkat kenyamanan termal. Kondisi ini juga sangat tidak menguntungkan bagi penghuni yang sedang melakukan aktivitas di dalam ruangan dikarenakan kondisi laju perpindahan udara yang tidak sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan oleh SNI. Langkah mudah yang dapat dilakukan untuk mendapatkan kenyamanan termal sesuai dengna standar yang ditetapkan adalah dengan menggunakan sistem pengkondisian udara (AC). Akan tetapi dengan penggunaan alat tersebut akan

memakan banyak energi listrik. Hal lain yang dapat dilakukan untuk mendapatkan kenyamanan termal dan menghemat penggunaan energi listrik adalah dengan pengoptimalan dan mempertimbangkan efisiensi dari penggunaan alat pengkondisian udara (AC) pada suatu ruangan. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 036572-2001, kenyamanan termal bagi daerah beriklim tropis seperti Indonesi diklasifikasikan menjadi empat yaitu:

1. Temperatur

Pada daerah tropis seperti Indonesia klasifikasi untuk kenyamanan termal dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

- a. Temperatur berkisar 20,5 – 22,8 °C, dikatakan sejuk nyaman,
- b. Temperatur berkisar 22,8 – 25,8 °C, dikatakan nyaman optimal,
- c. Temperatur berkisar 25,8 – 27,1 °C, dikatakan hangat nyaman.

2. Kelembaban

Bagi daerah yang memiliki dua iklim yaitu hujan dan panas atau sering disebut dengan iklim tropis, kelembaban yang dianjurkan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 036572 tahun 2001 berkisar diantara 50 – 60 %.

3. Pergerakan Udara (Kecepatan udara)

Untuk kondisi dari kecepatan udara telah diatur di dalam SNI tahun 2001 dimana kecepatan udara untuk mendapatkan kenyamanan termal bagi daerah beriklim tropis adalah sebesar 0,25 m/s.

4. *Mean Radiant Temperature* (MRT)

Merupakan suhu radiasi rata-rata, disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah pancaran dari radiasi sinar matahari. Pada umumnya MRT harus dikondisikan agar selalu sesuai dengan suhu udara lingkungan.

(SNI, 2001).

2.5 Beban Pendinginan (*Cooling Load*)

Ada banyak faktor yang diperhitungkan dalam menentukan besarnya beban pendinginan pada suatu pengkondisian udara. Faktor-faktor ini mempunyai dampak bagi kapasitas sistem, pengendalian, perancangan, dan penempatan sistem saluran udara. Salah satu pengaplikasiannya yaitu penempatan unit-unit hangat dibawah

jendela atau di sepanjang dinding luar dapat mengatasi pengaruh suhu rendah dari permukaan-permukaan tersebut. Perpindahan kalor melalui suatu kerangka bangunan dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, faktor geometris, ukuran, bentuk, orientasi, dan faktor cuaca.

Untuk dapat mengetahui nilai total beban pendinginan pada suatu ruangan, maka dalam melakukan perhitungan nilai beban pendinginan dibagi menjadi dua yaitu, beban pendinginan luar (eksternal) merupakan perhitungan yang dilakukan dengan memperhatikan koefisien kalor menyeluruh (U), jenis material, dan perbedaan temperatur dari dinding, atap, kaca, lantai, pintu, dan infiltrasi. Sedangkan beban pendinginan dalam (internal) merupakan perhitungan yang dilakukan terhadap koefisien kalor menyeluruh yang ada di dalam ruangan itu sendiri, kalor yang dikeluarkan oleh sistem penerangan, kalor yang dikeluarkan dari aktivitas penghuni di dalam ruangan, dan peralatan elektronik yang digunakan. Pembagian beban pendingin dengan menggunakan metode CLTD adalah sebagai berikut (Stoecker, 1983).

2.5.1 Beban Eksternal

Beban pendinginan luar (eksternal) merupakan beban pendinginan yang disebabkan oleh kalor yang dihasilkan dari pancaran sinar matahari, akan tetapi tidak langsung masuk ke dalam ruangan. Panas tersebut terhalang oleh benda-benda yang ada di ruangan tersebut seperti dinding, kaca, pintu, atap, infiltrasi, dan lantai. Dari situlah beban kalor beban pendinginan luar dihasilkan.

Koefisien termal menyeluruh (U) merupakan beban yang berasal dari atap, dinding partisi, lantai, infiltrasi, pintu dan kaca. Sementara beban radiasi berasal dari kaca (ASHRAE, 1997).

Untuk dapat mengetahui nilai beban pendingin pada dinding, peneliti melakukan pengukuran pada tiap dinding yang mengelilingi ruangan yaitu dinding bagian utara, selatan, barat, dan timur. Setelah nilai luas permukaan (A) didapat, perbedaan temperatur dan jenis material maka dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\text{dinding}} = U_{\text{dinding}} \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Keterangan:

- ΔT = Perbedaan Temperatur (K)
 A = Luas permukaan dinding (m^2)
 $U_{dinding}$ = Koefisien perpindahan kalor ($\frac{W}{m^2} \cdot K$)

Untuk menghitung beban pendinginan pada kaca dibagi menjadi dua yaitu secara koefisien termal menyeluruh (U) dan radiasi, adapun rumus untuk menentukan beban pendingin kaca dengan memperhatikan luas permukaan kaca (A), jenis material yang digunakan, dan perbedaan temperatur adalah sebagai berikut:

$$Q_{kaca} = U_{kaca} \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Keterangan:

- ΔT = Perbedaan Temperatur (K)
 A = Luas permukaan kaca (m^2)
 U_{kaca} = Koefisien perpindahan kalor ($\frac{W}{m^2} \cdot K$)

Dalam menentukan beban pendinginan kaca secara radiasi diperlukan beberapa faktor untuk dapat dilakukan perhitungan yaitu posisi kaca, letak geografis dari gedung, lama kaca terkena pancaran matahari, dan waktu pengambilan data. Setelah semua faktor tersebut didapat selanjutnya dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{Kaca} = A \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF \quad (2.3)$$

Keterangan:

- SC = *Shading Coefficient*
 A = Luas permukaan dinding (m^2)
 $SHGF$ = *Solar Heat Gain Factor* ($\frac{W}{m^2}$)
 CLF = *Cooling Load Factor*

Dikarenakan posisi ruangan berada di lantai 2 yaitu diantara lantai 1 dan lantai 3 sehingga untuk jenis material pada atap disamakan dengan jenis material pada lantai. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$Q_{\text{atap}} = U_{\text{atap}} \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.4)$$

Keterangan:

ΔT = Perbedaan Temperatur (K)

A = Luas permukaan atap (m^2)

U_{atap} = Koefisien perpindahan kalor ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}$)

Berikut ini adalah cara menghitung beban pendinginan pada lantai dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$Q_{\text{lantai}} = U_{\text{lantai}} \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

Keterangan:

ΔT = Perbedaan Temperatur (K)

A = Luas permukaan lantai (m^2)

U_{lantai} = Koefisien perpindahan kalor ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}$)

Berikut ini adalah cara menghitung beban pendinginan pada pintu dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$Q_{\text{pintu}} = U_{\text{pintu}} \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.6)$$

Keterangan:

ΔT = Perbedaan Temperatur (K)

A = Luas permukaan pintu (m^2)

U_{pintu} = Koefisien perpindahan kalor ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}$)

Menentukan beban infiltrasi diperlukan nilai dari laju perpindahan udara (Q) dengan mempertimbangkan potensi masuknya udara melalui celah-celah pintu, kaca, dinding tanpa disengaja. Adapun persamaan dalam mencari nilai laju perpindahan udara (Q) adalah sebagai berikut:

$$Q = \text{ACH} \cdot V \cdot 1/3600 \quad (2.7)$$

Keterangan:

- Q = Laju Perpindahan Udara (m^3/s)
ACH = *Air Change per hour* (1/h)
V = Total volume ruangan (m^3)

Beban kalor dari infiltrasi merupakan beban yang dihasilkan dari masuknya udara melalui celah-celah bangunan baik itu dinding, pintu, *frame* kaca, dan lain-lain tanpa disengaja. Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$Q_{\text{sensible}} = 1,23 \cdot Q \cdot \Delta T \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{laten}} = 3010 \cdot Q \cdot \Delta W \quad (2.9)$$

Keterangan:

- Q = Laju Perpindahan Udara (m^3/s)
 ΔT = Perbedaan Temperatur (K)
 ΔW = Perbedaan rasio kelembaban (kg/kg)
 C_s = *Air sensible heat factor* $\text{W}/(\text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{k})$
 C_l = *Air laten heat factor* $\text{W}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$

2.5.2 Beban Internal

Beban pendinginan dalam (internal) merupakan kalor yang dihasilkan dari dalam ruangan itu sendiri tanpa adanya pengaruh kalor dari luar. Beban pendinginan dalam (internal) sendiri terdapat beberapa jenis diantaranya adalah beban penghuni, penerangan, peralatan.

Beban kalor dari penghuni dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q_{\text{sensible}} = n \cdot \text{Sens. HG} \cdot \text{CLF} \quad (2.10)$$

$$Q_{\text{laten}} = n \cdot \text{Lat. HG} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- n = jumlah orang
Sens. HG = *Sensible Heat Gain* (W)
Lat. HG = *Laten Heat Gain* (W)

CLF = Cooling Load Factor

WWW.itk.ac.id

Besarnya beban penerangan dapat diperoleh sesuai dengan pemakaian pada ruangan yang digunakan, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$Q_{\text{lampu}} = \text{Daya Lampu} \cdot \text{Ballas Factor} \cdot \text{CLF} \quad (2.12)$$

Keterangan:

Daya Lampu = Besar daya pada lampu (W)

Ballas Factor = Jenis lampu yang digunakan

CLF = *Cooling Load Factor*

Beban peralatan merupakan beban dari penggunaan alat-alat/peralatan yang terdapat di dalam ruangan yang dijadikan sebagai penelitian. Pada ruangan 205 dan 206 E, terdapat laptop dan projector.

Berikut nilai ketetapan AC yang dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan beban pendingin, disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Ketetapan Kapasitas AC

Kapasitas AC (PK)	Kapasitas AC (BTU/hr)
1	9000-11000
1,5	12000-17000
2	18000-23000
2,5	24000-26000
3	27000-44000
5	45000-50000
6	60000
8	80000

*) (Fitriana, 2019)

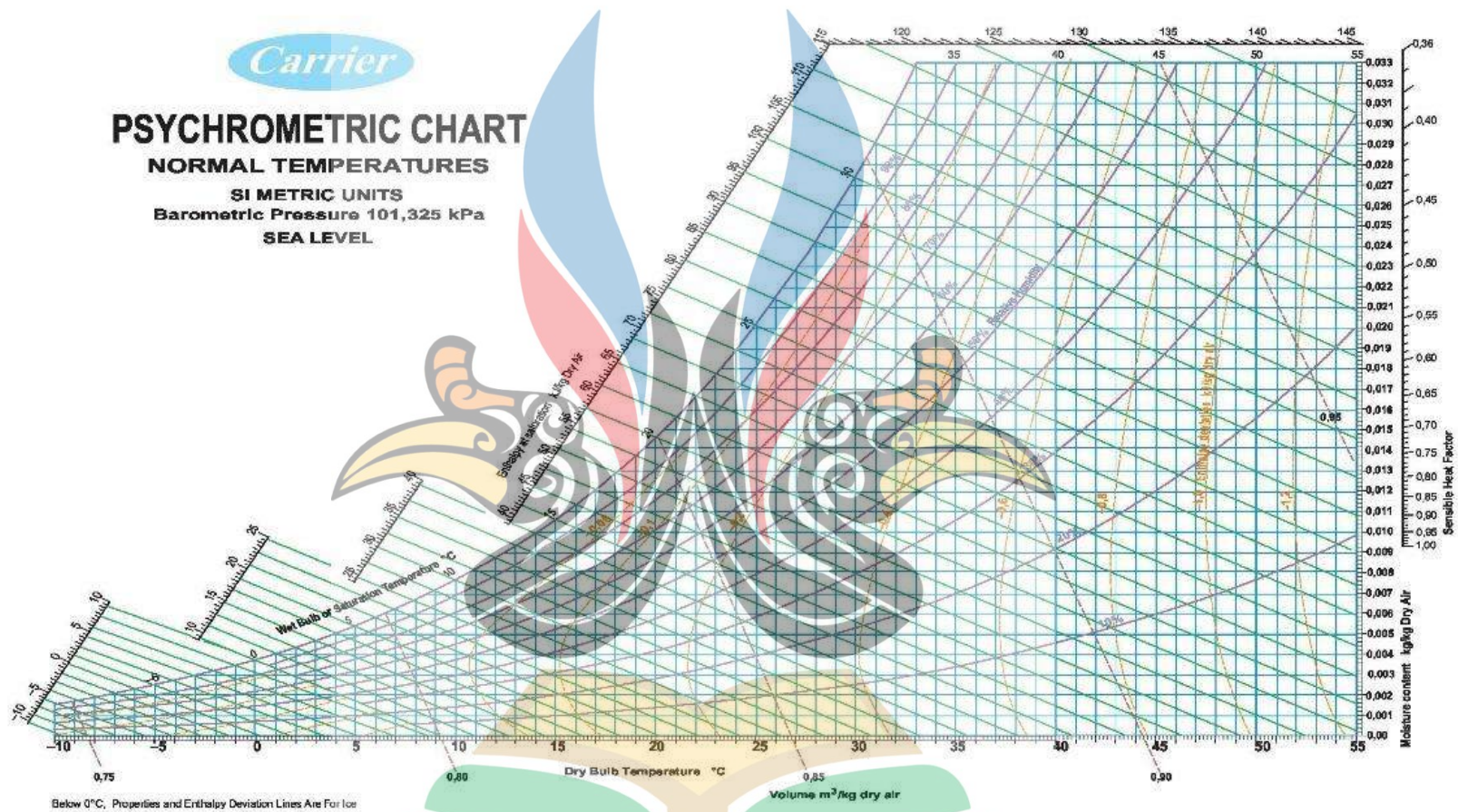
WWW.itk.ac.id

2.6 Psikometri

Psikometri adalah ilmu yang mempelajari sifat dari termodinamika yaitu perpaduan udara dengan uap air pada kenyamanan manusia. Hampir sebagian proses pengkondisian udara, kandungan air sengaja dihilangkan dari udara, sedangkan pada beberapa kasus air dapat dimasukkan di dalam udara. Pada diagram psikometri dapat digunakan untuk menentukan dari rasio kelembaban dengan memperhatikan nilai dari temperatur dan kelembaban yang ada di gedung/ruangan tersebut (Carrier, 1965).



[WWW.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)



Gambar 2.6 Diagram Psikometri (Carrier, 1965)

2.7 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah Tabel 2.3 Penelitian terdahulu yang merupakan tabel penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Susanto dkk, 2017	Metode : <i>Cooling Load Temperature Difference (CLTD)</i> Hasil : Didapatkan nilai total beban pendingin pada Ruang Lobby adalah sebesar 14270,07 W atau setara dengan 48691,5 Btu/hr
2	Suntoro dkk, 2018	Metode : <i>Cooling Load Temperature Difference (CLTD)</i> Hasil : Dengan menggunakan <i>absorption chiller</i> jenis <i>single effect</i> dengan nilai <i>Coefficient Of Performance (COP)</i> adalah sebesar 0,7. Maka besarnya energi termal yang diperlukan PT. Indonesia Power UPJP Bali sebesar 1303,62 KW
3	Pertiwi dan ahyadi, 2019	Metode : <i>Cooling Load Temperature Difference (CLTD)</i> dan diagram psikometrik Hasil : Didapatkan beban puncak sebesar 387993,83 Btu/hr atau 113,71 KW pada pukul 16.00 WIB dengan menggunakan PAC (<i>Precision Air Conditioning</i>)
4	Karuna dkk, 2020	Metode : <i>Cooling Load Temperature Difference (CLTD)</i> Hasil : Sistem HVAC yang direkomendasikan adalah <i>chiller</i> dengan kapasitas 30 – 40 TR