

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Ruang Kelas**

Belajar merupakan sebuah perjalanan penemuan diri yang melibatkan seluruh aspek jiwa dan raga. Melalui interaksi dengan lingkungan, individu memperoleh pengalaman yang berharga dan memicu perubahan positif dalam tingkah lakunya. Perubahan ini meliputi aspek kognitif [1], afektif (perasaan dan sikap), dan psikomotor (keterampilan fisik) (Syaiful, 2008). Ruang kelas merupakan suatu ruangan yang biasanya digunakan untuk kegiatan belajar. Efektifitas kegiatan belajar juga dapat ditentukan dari termal ruangan kelas tersebut. Kenyamanan termal merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi efektivitas belajar di ruang kelas. Suhu ruangan yang tidak ideal dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi siswa, yang dapat mengganggu konsentrasi, fokus, dan performa belajar mereka.

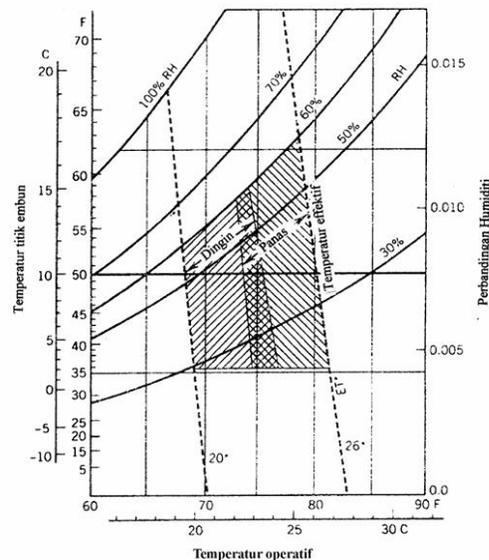
Dalam penelitiannya Susanti dan Aulia menyatakan orientasi bangunan terhadap sinar matahari, penempatan ventilasi, dan jumlah ventilasi yang terkait dengan pertukaran udara, berperan penting dalam menentukan kenyamanan termal di dalam ruangan [5]. Seiring kemajuan teknologi, penggunaan Air Conditioner [6] menjadi salah satu solusi untuk menciptakan lingkungan yang lebih nyaman secara termal, terutama di daerah yang memiliki temperatur tinggi.

Penyegaran udara adalah proses yang melibatkan pendinginan udara untuk mencapai suhu dan kelembaban yang diinginkan. Proses ini sangat penting untuk memastikan kenyamanan termal dalam ruangan tertentu, sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan. Dengan suhu dan kelembaban yang tepat, penghuni ruangan dapat merasa lebih nyaman dan produktif [7].

Suhu ruangan belajar yang tidak ideal, baik terlalu panas maupun terlalu dingin, dapat membahayakan kesehatan. Pada suhu panas, dapat terjadi gangguan kesehatan seperti *heat cramps*, *heat exhaustion*, *heat stroke*, dan *heat rash*. Sedangkan pada suhu dingin, dapat terjadi *chilblain*, *trench foot*, dan *frostbite*. Selain itu, ruangan yang panas atau lembab juga dapat menimbulkan reaksi-reaksi psikologis bagi penghuninya. Perubahan kenyamanan termal di luar kondisi normal dapat menyebabkan ketidaknyamanan fisik seperti berkeringat, cepat lelah, dan mudah mengantuk karena kekurangan oksigen. Ketidaknyamanan mental juga dapat muncul, seperti munculnya berbagai sugesti negatif bagi penghuni ruangan. Standar Nasional Indonesia [1] 03-6572-2001 telah menetapkan tingkatan temperatur yang nyaman bagi orang Indonesia, yang terbagi menjadi tiga bagian diantaranya:

1. Sejuk temperatur efektif 20,5°C – 22,8°C
2. Nyaman temperatur efektif 22,9°C – 25,8°C
3. Hangat temperatur efektif 25,8°C – 27,1°C

Adapun pada Standar Nasional Indonesia menunjukkan temperatur yang nyaman untuk manusia yaitu:



### **Gambar 2.1** Kategori Temperatur Menurut SNI

(Sumber: SNI 03-6572-2001)

Dalam gambar tersebut dijelaskan bahwa dalam negara Indonesia yang beriklim tropis dan condong ke panas, untuk temperatur yang nyaman berada dikisaran 23°C-25 °C. Adapun untuk RH atau *Realtive Humidity* berkisar 60% [8]

## **2.2 HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning)**

HVAC merupakan singkatan dari *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* yang mana suatu sistem yang mengatur suhu dan kualitas udara didalam ruangan ataupun Gedung. Sistem HVAC adalah salah satu sistem yang paling banyak mengonsumsi energi, sehingga konsumsi listrik gedung sangat dipengaruhi oleh beban HVAC. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada perhitungan sistem HVAC untuk memperkirakan konsumsi energi di sektor bangunan, yang menyumbang lebih dari 55% dari total permintaan listrik[9]. Adapun manfaat dari HVAC yaitu:

- Menjaga Kenyamanan: Suhu dan kelembaban yang optimal meningkatkan kenyamanan penghuni ruangan.
- Meningkatkan Kesehatan: Udara yang bersih dan terkontrol membantu menjaga kesehatan penghuni ruangan dengan mengurangi alergi, asma, dan penyakit pernapasan lainnya.
- Meningkatkan produktivitas: Suhu dan kelembaban yang optimal dapat meningkatkan fokus dan konsentrasi, sehingga meningkatkan produktivitas kerja.
- Menghemat energi: Sistem HVAC yang hemat energi dapat membantu mengurangi biaya tagihan listrik.

Dalam HVAC terdapat beberapa jenis sistem yang digunakan. Sistem HVAC Sentral biasa digunakan untuk bangunan-bangunan besar seperti Gedung perkantoran dan hotel. Sistem HVAC Split biasa digunakan untuk bangunan-bangunan yang lebih kecil seperti rumah dan apartemen [10]. HVAC memiliki komponen-komponen utama dalam alatnya yaitu :

1. Kompresor: Meningkatkan tekanan refrigerant dalam bentuk gas yang keluar dari evaporator setelah menyerap kalor ataupun panas udara ruang yang ingin didinginkan. Refrigerant dalam bentuk gas yang keluar compressor selain memiliki tekanan tinggi juga diikuti dengan peningkatan temperatur gas[11].



**Gambar 2.2** Kompresor AC

(Sumber: qualitytechnic.com)

2. Kondensor: Mengubah fasa refrigerant menjadi cair jenuh dengan cara melepaskan kalor kalor refrigerant ke udara lingkungan atau luar[12].



**Gambar 2.3** Kondensor AC

(Sumber: qualitytechnic.com)

3. Katup Ekspansi: Pada katup ekspansi memiliki fungsi dimana menurunkan tekanan fluida cair dengan cara melewati cairan refrigerant ke pipa kapiler[13].



**Gambar 2.4** Katup Ekspansi AC

(Sumber: tokopedia.com)

4. Evaporator: Mengubah fasa refrigerant dari air (keluaran katup ekspansi) menjadi fasa uap dengan cara menyerap kalor udara ruangan yang ingin dikondisikan[14].



**Gambar 2.5** Evaporator AC

(Sumber: blibli.com)

### **2.3 ASHRAE (American Society Of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering)**

ASHRAE atau *American Society Of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineering* merupakan organisasi nirlaba internasional yang

mengembangkan standar, pedoman, dan publikasi untuk berbagai bidang HVAC, termasuk:

- Perhitungan beban: Menentukan kebutuhan pemanasan dan pendinginan suatu ruangan.
- Desain Sistem: Memilih dan merancang sistem HVAC yang tepat untuk memenuhi kebutuhan suatu ruangan.
- Pemeliharaan: Memberikan panduan untuk mengoperasikan dan memelihara sistem HVAC dengan benar.

ASHRAE terdapat metode perhitungan dalam mendesain sistem HVAC adapun metode tersebut adalah CLTD atau *Cooling Load Temperature Difference* yang memanfaatkan perbedaan temperatur luar atau eksternal dan temperatur dalam atau internal.

### 2.3.1 Perhitungan Faktor Eksternal CLTD Atap

Faktor eksternal mengacu pada elemen-elemen di luar bangunan yang memengaruhi beban pendinginan, adapun untuk faktor eksternal atap dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Atap} \quad : \quad Q = U \times A \times CLTD_c$$

Dimana

Q = Beban pendinginan dinding/atap/kaca (BTU/H)

U = Koefisien Perpindahan panas (BTU/h.ft<sup>2</sup>.F)

A = Luas area (ft<sup>2</sup>)

CLTD<sub>c</sub> = Nilai perbedaan suhu yang telah dikoreksi (°F)

Perlu diketahui bahwasannya nilai U pada rumus perhitungan faktor eksternal CLTD terdapat pada **Lampiran 9**, pada lampiran tersebut terdapat berbagai jenis atap yang digunakan. Pada penelitian kali ini tidak menggunakan perhitungan faktor eksternal pada atap dikarenakan atap pada ruangan sudah tertutup oleh *Ceiling*.

Pada perhitungan beban pendinginan faktor eksternal nilai CLTD<sub>c</sub> harus didapatkan nilainya terlebih dahulu. Adapun untuk nilai CLTD<sub>c</sub>

yang merupakan nilai perbedaan suhu yang telah dikoreksi sebagai berikut.

$$CLTD_c = CLTD + LM + (78 - tR) + (ta - 85)$$

Dimana

LM = Koreksi pada garis lintang dan bulan

tR = Temperatur yang diinginkan (°F)

ta = Temperatur rata-rata luar ruangan (°F)

CLTD = Nilai koefisien yang terpapar sinar matahari terhadap arah mata angin

Pada nilai CLTD didapatkan dari tabel pada buku Edward untuk penelitian kali ini tabel tersebut terlampir pada **Lampiran 2**. Dalam lampiran tersebut sudah terdapat arah mata angin, jenis dinding yang digunakan, dan pada jam berapa saja terpapar sinar mataharinya.

LM pada rumus diatas merupakan nilai koreksi pada garis lintang dan bulan. Nilai dari *Latitude and month* sudah ditetapkan pada tabel yang sudah terlampir pada **Lampiran 3**. Pada tabel tersebut sudah dituliskan untuk nilai garis lintang, bulan, dan arah mata angin. Sehingga sudah ditetapkan nilai-nilainya.

### 2.3.2 Perhitungan Faktor Eksternal CLTD Dinding

Faktor eksternal mengacu pada elemen-elemen di luar bangunan yang memengaruhi beban pendinginan, adapun untuk faktor eksternal dinding dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Dinding} \quad : \quad Q = U \times A \times CLTD_c$$

Dimana

Q = Beban pendinginan dinding/atap/kaca (BTU/H)

U = Koefisien Perpindahan panas (BTU/h.ft<sup>2</sup>.F)

A = Luas area (ft<sup>2</sup>)

CLTD<sub>c</sub> = Nilai perbedaan suhu yang telah dikoreksi (°F)

Perlu diketahui bahwasannya nilai  $U$  pada rumus perhitungan faktor eksternal CLTD terdapat pada tabel dari buku Edward, pada buku tersebut terdapat berbagai jenis atap yang digunakan. Adapun lampiran yang melampirkan tabel nilai  $U$  untuk perhitungan dinding dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

Pada perhitungan beban pendinginan faktor eksternal nilai CLTDc harus didapatkan nilainya terlebih dahulu. Adapun untuk nilai CLTDc yang merupakan nilai perbedaan suhu yang telah dikoreksi sebagai berikut.

$$CLTDc = CLTD + LM + (78 - tR) + (ta - 85)$$

Dimana

LM = Koreksi pada garis lintang dan bulan

tR = Temperatur yang diinginkan (°F)

ta = Temperatur rata-rata luar ruangan (°F)

CLTD = Nilai koefisien yang terpapar sinar matahari terhadap arah mata angin

Pada nilai CLTD didapatkan dari tabel pada buku Edward untuk penelitian kali ini tabel tersebut terlampir pada Lampiran 2. Dalam lampiran tersebut sudah terdapat arah mata angin, jenis dinding yang digunakan, dan pada jam berapa saja terpapar sinar mataharinya.

LM pada rumus diatas merupakan nilai koreksi pada garis lintang dan bulan. Nilai dari Latitude and month sudah ditetapkan pada tabel yang sudah terlampir pada Lampiran 3. Pada tabel tersebut sudah dituliskan untuk nilai garis lintang, bulan, dan arah mata angin. Sehingga sudah ditetapkan nilai-nilainya.

Nilai Ta merupakan nilai temperatur rata-rata luar ruangan yang mana dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$ta = t_o - \left(\frac{DR}{2}\right)$$

Dimana

$t_o$  = Suhu kering rancangan ( $^{\circ}\text{F}$ )

DR = Rentang suhu harian pada data Indonesia ( $^{\circ}\text{F}$ )

Pada nilai DR dapat dicari melalui sumber terpercaya untuk cuaca pada negara Indonesia yaitu BMKG atau website BMKG atau website cuaca yang terpercaya seperti Weather.com [15].

### 2.3.3 Perhitungan Faktor Eksternal CLTD Kaca

Faktor eksternal mengacu pada elemen-elemen di luar bangunan yang memengaruhi beban pendinginan, adapun untuk faktor eksternal kaca dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF$$

Dimana

SHGF = Faktor tertinggi *solar heat gain* (BTU/hr.ft<sup>2</sup>)

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

SC = *Shading Coefficient*

CLF = *Cooling load factor* untuk kaca

Pada nilai SHGF diperlukannya data-data tambahan. Data-data tambahan tersebut terdapat pada tabel yang terlampir pada **Lampiran 4**. Pada tabel tersebut disebutkan untuk nilai tertinggi *solar heat gain factor* dalam bentuk arah mata angin dan juga bulan dalam satu tahunnya.

Nilai SC atau *shading coefficient* merupakan nilai bayangan dari kaca. Nilai koefisien tersebut sudah terlampir pada tabel yang terdapat pada **Lampiran 5**.

Nilai CLF pada perhitungan kaca dapat dilihat pada tabel yang tertera pada **Lampiran 6**. Dimana terdapat nilai CLF dan juga arah mata angin yang berfungsi sebagai penanda untuk kaca yang terpapar oleh sinar matahari.

### 2.3.4 Perhitungan Faktor Internal CLTD Plafond

Faktor internal mengacu pada elemen-elemen di dalam bangunan yang memengaruhi beban pendinginan. adapun untuk faktor internal Plafond dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Plafond} \quad : Q = U \times A \times \Delta T$$

Dimana

U = Nilai koefisien perpindahan panas pada langit-langit/partisi/lantai (BTU/(h.ft<sup>2</sup>.F))

A = Luas Area (ft<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Selisih temperatur luar dan dalam ruangan (°F)

Nilai U untuk plafond didapatkan dari tabel yang terlampir pada **Lampiran 9**. Dimana nilai U merupakan nilai koefisien perpindahan panas pada langit-langit atau plafond. Nilai luas area yang digunakan pada perhitungan ini merupakan luas area pada plafond atau langit-langit.

### 2.3.6 Perhitungan Faktor Internal CLTD Lampu

Faktor internal mengacu pada elemen-elemen di dalam bangunan yang memengaruhi beban pendinginan. adapun untuk faktor internal Lampu dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Lampu} \quad : Q = 3,4 \times W \times BF \times CLF$$

Dimana

W = Daya pada pencahayaan (lampu)

BF = Faktor ballas

CLF = Nilai faktor beban pendinginan sesuai hunian (1.0) apabila digunakan jika hanya pada malam saja atau waktu tertentu saja.

Nilai  $W$  sendiri merupakan nilai total atau jumlah daya yang digunakan dalam hal ini merupakan lampu. Setelah itu dikalikan dengan 3,4 yang merupakan nilai koefisien untuk konversi yang sebelumnya adalah Watt menjadi Btu/H. Nilai pada BF atau faktor ballas merupakan nilai *heat losses* untuk lampu dimana untuk lampu jenis *Flourescent lighting* besarnya adalah 1.25, sedangkan untuk jenis lampu *Incandescent* besaran nilai BF nya adalah 1.

### 2.3.7 Perhitungan Faktor Internal CLTD Penghuni

Faktor internal mengacu pada elemen-elemen di dalam bangunan yang memengaruhi beban pendinginan. adapun untuk faktor internal Penghuni dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penghuni : } Q_{sensible} = n \times q_s \times CLF$$

$$Q_{laten} = n \times q_l$$

Dimana

$n$  = Jumlah manusia dalam ruangan

$q_s$  = Beban kalor sensibel

$q_l$  = Beban kalor laten

CLF = Nilai faktor 1 dikarenakan aktifitas manusia terhenti pada saat malam hari.

Pada perhitungan beban pendinginan untuk penghuni terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah kegiatan manusia dan juga tempat manusia beraktifitas. Nilai pada  $Q_s$  dan juga  $Q_l$  dapat ditemukan pada **Lampiran 11**. Adapun untuk nilai CLF pada perhitungan kali ini yaitu sebesar 1 dikarenakan aktifitas manusia terhenti pada saat malam.

### 2.3.8 Perhitungan Faktor Internal CLTD Peralatan (*Equipment*)

Faktor internal mengacu pada elemen-elemen di dalam bangunan yang memengaruhi beban pendinginan. adapun untuk faktor internal peralatan dengan rumus sebagai berikut:

Peralatan :

$$Q = 3,4 \times W_{equipment} \times CLF$$

Dimana

$W_{equipment}$  = Daya pada peralatan (Watt)

CLF = Nilai faktor beban pendinginan sesuai hunian  
(1.0) jika tidak 24 jam pemakaian

Pada perhitungan peralatan atau *Equipment* terdapat hal yang penting untuk diperhatikan, hal tersebut adalah nilai daya yang dikeluarkan pada setiap peralatan ataupun equipment yang ada terutama yang bersinggungan dengan listrik, seperti stop kontak, proyektor, televisi, printer, computer, dan lainnya.

### 2.3.9 Perhitungan Faktor Internal CLTD Ventilasi

Faktor internal mengacu pada elemen-elemen di dalam bangunan yang memengaruhi beban pendinginan. adapun untuk faktor internal Ventilasi dengan rumus sebagai berikut:

Ventilasi :

$$Q_{Sensibel} = 1,1 \times CFM \times \Delta T$$

$$Q_{Laten} = 4840 \times (W'_0 - W'_i) \times CFM$$

Dimana

$Q_s$  = Kalor sensibel (BTU/h)

$Q_l$  = Kalor laten (BTU/h)

- $\Delta T$  = Selisih temperatur luar dan dalam ruangan ( $^{\circ}\text{F}$ )  
 CFM = *Air ventilation rate* ( $\text{ft}^3/\text{min}$ )  
 $W'_0$  = Nilai *Humidity ratio* luar ruangan ( $\text{gr.w/lb.d.a}$ )  
 $W'_i$  = Nilai *Humidity ratio* dalam ruangan ( $\text{gr.w/lb.d.a}$ )

Pada perhitungan ventilasi terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan diantaranya adalah besaran CFM dan nilai selisih *Relative Humidity*. Pada nilai CFM dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q = \frac{Q}{\text{Person}} \times \text{No. of People}$$

Dimana

$$Q = \text{Ventilasi rate per manusia}$$

Adapun hal yang perlu diperhatikan pada perhitungan ini adalah tempat dan kegiatan manusia yang nilainya sudah terlampir pada tabel di **Lampiran 12**.

Pada nilai Humidity Ratio dapat dicari menggunakan tabel psychometri yang tertera pada **Lampiran 13**. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan pertemuan antara nilai Temperatur dengan nilai RH%.

## 2.4 ROT (Rules Of Thumb)

Rule Of Thumb atau ROT merupakan metode perkiraan kasar untuk menghitung beban pendinginan pada suatu ruangan. Metode ini tidak seakurat metode perhitungan CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*). Dalam perhitungan [16].

Adapun perhitungan pada metode ROT ini yaitu:

$$q = A \times ROT$$

Dimana

q = Beban Pendinginan

A = Luas Area Ruangan

ROT = Koefisien Pengkali Ruangan

Adapun untuk nilai dari ROT dapat dilihat pada gambar tabel dibawah ini

### **5.16 School Classrooms**

<b>A. Total Heat</b>	<b>225-275 sq.ft./ton</b>	<b>(Range 150-350)</b>
<b>B. Total Heat</b>	<b>43-53 Btuh/sq.ft.</b>	<b>(Range 35-80)</b>
<b>C. Room Sens. Heat</b>	<b>25-42 Btuh/sq.ft.</b>	<b>(Range 20-65)</b>
<b>D. SHR</b>	<b>0.65-0.80</b>	
<b>E. Air Change Rate</b>	<b>4-12 AC/hr.</b>	

**Gambar 2.6** Nilai ROT untuk ruang kelas  
(Sumber: HVAC Rule Of Thumb)

## **2.5 Labjack U6 Data Acquisition**

LabJack U6 adalah perangkat data acquisition (DAQ) yang digunakan untuk mengumpulkan dan memproses data dari berbagai sensor, termasuk sensor suhu. Alat ini berfungsi sebagai antarmuka antara sensor dan komputer, memungkinkan pengguna untuk membaca dan menganalisis data sensor secara real-time. LabJack U6 dilengkapi dengan beberapa saluran analog dan digital yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai jenis sensor, membuatnya sangat fleksibel dan serbaguna dalam aplikasi pengumpulan data ilmiah dan industri [6].

Prinsip kerja LabJack U6 dalam pembacaan data temperatur melibatkan konversi sinyal analog dari sensor suhu menjadi data digital yang dapat diolah oleh komputer. Sensor suhu, seperti thermocouple atau RTD, menghasilkan tegangan atau resistansi yang sebanding dengan perubahan suhu. LabJack U6 kemudian membaca sinyal ini melalui saluran analognya dan menggunakan konverter analog-ke-digital (ADC) untuk mengubah sinyal analog menjadi nilai digital. Data digital ini kemudian dikirim ke komputer melalui antarmuka USB, di mana perangkat lunak yang disediakan oleh LabJack dapat digunakan untuk merekam, memonitor, dan menganalisis data suhu [6].

Kegunaan LabJack U6 dalam pembacaan data temperatur sangat luas dan mencakup berbagai bidang. Dalam penelitian ilmiah, LabJack U6 dapat

digunakan untuk eksperimen yang memerlukan pemantauan suhu yang akurat dan berkelanjutan. Di industri, alat ini sering digunakan untuk kontrol proses, di mana pemantauan suhu yang tepat sangat penting untuk menjaga kualitas produk dan efisiensi operasional. Selain itu, LabJack U6 juga digunakan dalam aplikasi lingkungan, seperti pemantauan suhu ruangan atau laboratorium, dan dalam pengembangan produk, di mana pengujian suhu yang konsisten dan akurat sangat penting untuk pengembangan dan pengujian prototipe [6].



**Gambar 2.7** LabJack U6  
(Sumber: LabJack.com)