

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Kerangka Teori

Menurut Soegijanto, 1993, pada sistem tata udara, makin besar beban pengkondisian makin besar pula energi yang dipergunakan. Salah satu cara untuk menghemat energi adalah mengusahakan beban pengkondisian sekecil mungkin.

Dalam penelitian ini, upaya memperkecil beban pengkondisian dalam hal ini beban pendinginan adalah dengan menentukan kapasitas pendinginan secara tepat, akurat dan cepat.

Untuk mencapai hal tersebut SNI merekomendasikan perhitungan dilakukan dengan perhitungan metode CLTD (SNI 03-6390-2000, pasal 4.2.3.1), cara ini juga diperkenalkan oleh ASHRAE dan merupakan cara perhitungan yang akurat. Untuk perhitungan yang sangat akurat ditambahkan faktor pembayangan.

Pada tahap perencanaan hal itu menemui kendala karena perhitungan dengan metoda CLTD memakan waktu yang lama. Tetapi dengan adanya perkembangan dibidang program komputer hal itu tidak perlu dikhawatirkan lagi.

#### 2.1.1 *Altitude* Dan *Azimuth* Matahari (ASHRAE, 1993)

Penentuan proyeksi bayangan diperlukan lebih dulu mengetahui letak matahari terhadap bangunan. Cara biasa bisa menggunakan *Chart* tetapi hal ini kurang akurat dan banyak terjadi kesalahan baca. Untuk keakuratan perhitungan dalam penelitian ini *altitude* dan *latitude* matahari diperoleh dari perhitungan.

*Altitude* matahari adalah sudut antara matahari dengan bidang horisontal.

$$\sin \hat{a} = \cos L \cdot \cos \ddot{a} \cdot \cos H + \sin L \sin \ddot{a}$$

dimana :

L = *Latitude*, garis lintang kota (°LS atau °LU).

$\ddot{a}$  = *Declination*.

H = Waktu lokal matahari dibagi 4 menit tiap derajat *longitude*.

$\hat{a}$  = *Altitude* matahari (derajat)

Azimut matahari adalah sudut di bidang horisontal antara arah selatan dengan posisi matahari. Searah jarum jam adalah negatif, berlawanan jarum jam bernilai positif.

$$\cos \Phi = \frac{(\sin b \cdot \sin L - \sin d)}{\cos b \cdot \cos L}$$

dimana :

$\hat{O}$  = Azimuth Matahari (derajat)

L = Latitude, garis lintang kota ( $^{\circ}$ LS atau  $^{\circ}$ LU).

$\hat{a}$  = Declination.

$\hat{a}$  = Altitude matahari (derajat)

Dalam hal ini azimuth dan altitude matahari dihitung untuk kota Jakarta disajikan dalam lampiran. Untuk bulan lain selain 5 hari kritis dapat diperoleh di CLTD ALL TOOLS.

### 2.1.2 Psychrometric

Kondisi udara luar (*outdoor*) untuk Jakarta diambil: DBT = 34°C; RH = 76%. Sedangkan kondisi udara dalam (*indoor*) menurut Spesifikasi Perancangan Udara dalam Bangunan pada Standar Perancangan Konservasi Energi (SNI: Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung, 2000) berkisar antara DBT = 24°C – 26°C; RH = 50% – 70%. Dalam penelitian ini, ditetapkan spesifikasi perancangan udara dalam (*indoor*) bangunan adalah DBT = 25°C; RH = 60%.

Pada perhitungan CLTD, selain kondisi udara luar (*outdoor*) dan udara dalam (*indoor*) yang berupa suhu DBT dan RH, masih diperlukan kondisi mengenai nilai W (*Humidity Ratio*). Nilai W dapat dilihat pada *Psychrometric Chart* no. 1 dari ASHRAE, 1993, dengan kondisi *normal temperature* (32°F – 120°F), *altitude* pada ketinggian permukaan air laut yang memiliki tekanan 29,921 Inch Hg (101,325 KPa). Kondisi ini sesuai dengan Jakarta.

Pada penelitian ini, setelah menggunakan suhu *indoor* 25°C dan kelembaban relatif 60% RH untuk perhitungan CLTD secara lengkap, maka dilanjutkan lagi untuk perhitungan beban pendinginan maksimum untuk suhu *indoor* 23°C - 27°C dan kelembaban relatif 60% RH dengan mengambil beberapa

sampel lantai yang mewakili. Penelitian ini dapat digunakan untuk menentukan beban pendinginan bangunan selain desain *indoor* 25°C.

Penggunaan *psychrometric chart* dapat membantu untuk menentukan nilai W dari suhu *indoor* 23°C - 27°C. Nilai W dapat diperoleh dari data suhu DBT dan kelembaban relatif (RH) dengan rumus (ASHRAE, 1993, pp. 6.11 – 6.14 :

$$W = \frac{0,62198 \times P_w}{P - P_w} \quad (2.1)$$

$$P_w = RH \times P_{ws} \quad (2.2)$$

dimana:

W = Humidity Ratio (lb/lb)

RH = Relative Humidity (%)

P = Tekanan total dalam udara basah (101,325 KPa atau 14,696 psia)

P<sub>w</sub> = Tekanan parsial uap air dalam udara basah (psia)

P<sub>ws</sub> = Tekanan dari uap air jenuh dalam udara basah (psia)

Sedangkan nilai P<sub>ws</sub> untuk kondisi temperatur antara 32°F - 392°F dapat diperoleh dengan rumus:

$$\ln(P_{ws}) = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13}\ln(T) \quad (2.3)$$

dimana:

T = Temperatur absolut (Reamur) = (DB + 459.67) °R

C<sub>8</sub> = -1,044 039 7 x 10<sup>4</sup>

C<sub>9</sub> = -1,129 465 0 x 10<sup>1</sup>

C<sub>10</sub> = -2,702 235 5 x 10<sup>-2</sup>

C<sub>11</sub> = 1,289 036 0 x 10<sup>-5</sup>

C<sub>12</sub> = -2,478 068 1 x 10<sup>-9</sup>

C<sub>13</sub> = 6,545 967 3 x 10<sup>0</sup>

Dengan menggunakan rumus di atas dengan suhu *indoor* 23°C - 27°C dan RH=60%, maka didapat nilai W adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai W dengan suhu *indoor* 23°C - 27°C dan RH=60%

Suhu <i>indoor</i> (°C)	Suhu <i>indoor</i> (°F)	Nilai W (lb/lb)
23	73,4	0,010 526 238
24	75,2	0,011 192 278
25	77,0	0,011 895 693
26	78,8	0,012 638 349
27	80,6	0,013 422 195

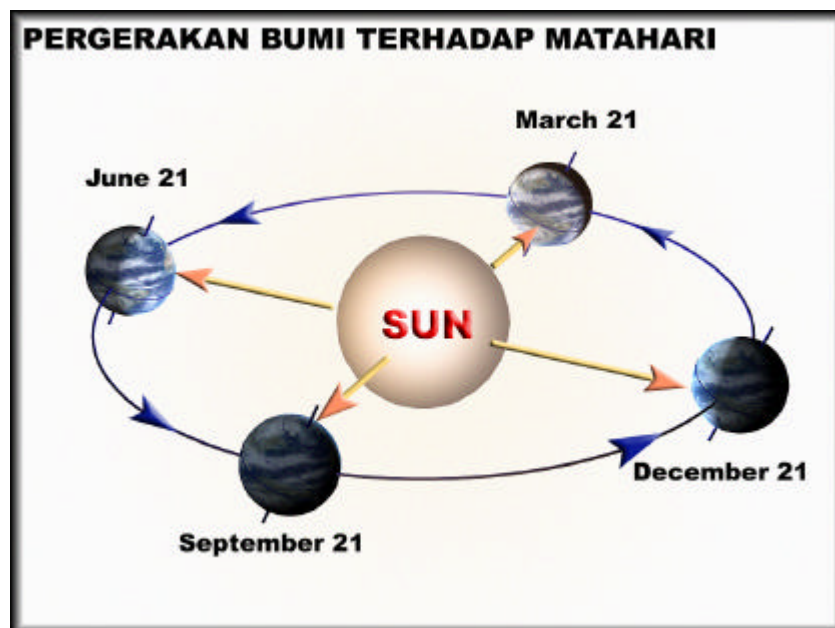
Untuk kondisi selain diatas nilai bisa didapat dengan aplikasi CLTD ALL TOOLS

### 2.1.3 Perhitungan CLTD

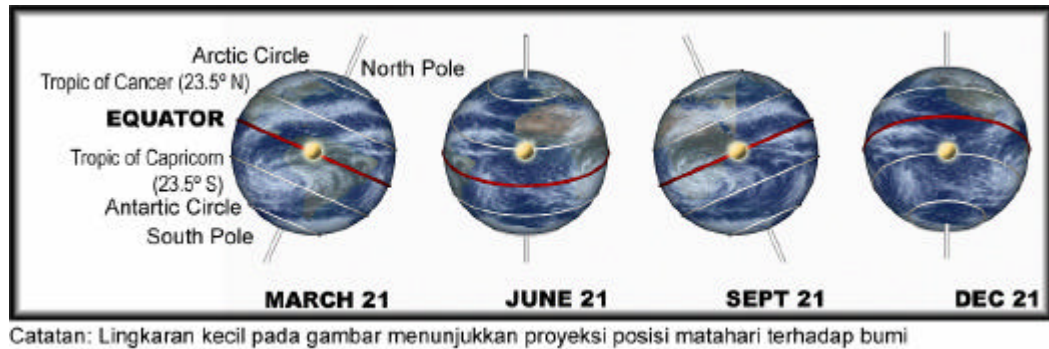
Perhitungan kapasitas *cooling load* dalam setahun dilakukan dengan mempertimbangkan empat hari kritis matahari dalam setahun, yaitu:

- 21 Maret : matahari berada di daerah katulistiwa.
- 22 Juni : matahari berada di belahan bumi utara ( $23.5^{\circ}\text{LU}$ ).
- 23 September : matahari berada di daerah katulistiwa.
- 22 Desember : matahari berada di belahan bumi selatan ( $23.5^{\circ}\text{LS}$ ).
- 21 Oktober : bulan terpanas di kota jakarta.

Matahari memberikan kontribusi beban panas terbesar pada bidang orientasi barat dan bidang horisontal (Soegijanto, 1989).



Gambar 2.1 Pergerakan bumi terhadap matahari  
(telah diolah kembali dari MEE Apendiks D)



Gambar 2.2 Proyeksi posisi matahari terhadap bumi

Perhitungan CLTD dilakukan dengan dilakukan perjam (*hourly*) selama satu hari penuh sehingga dapat digambarkan profil bangunan secara utuh.

Menurut Majalah Konstruksi (Soegijanto, 1983), konduksi dan radiasi matahari melalui kaca adalah beban panas yang paling besar yang berpengaruh pada beban pendinginan. Dalam tulisan berjudul “Konservasi Energi melalui Sistem HVAC”:

Apabila dianggap beban panas terbesar 100 persen, maka fluktuasi beban dari jam 10.00 hingga 16.00 sebesar 80 sampai 100 persen. Dari jumlah beban panas ini, penyumbang panas terbesar adalah panas sinar matahari yang masuk melalui kaca sebesar 45 persen disusul panas melalui infiltrasi udara luar 20 persen, panas dari penghuni 18 persen, panas melalui dinding 9 persen, panas lampu 8 persen dan terakhir panas melalui atap sebesar 3 persen.

Emisi panas dalam ruangan (*room heat gain*) terjadi karena (ASHRAE, 1993):

- Konduksi melalui dinding-dinding eksterior, atap dan kaca.
- Konduksi melalui partisi, plafond dan lantai.
- Radiasi matahari melalui kaca.
- Ventilasi.
- Penggunaan lampu.
- Metabolisme manusia.
- Peralatan yang digunakan.

Dalam perhitungan CLTD, beban panas dibagi menjadi dua, yaitu beban panas eksternal dan internal. Yang dimaksud beban panas eksternal adalah beban

panas konduksi – baik konduksi melalui kaca maupun konduksi melalui dinding, partisi, lantai, dan atap – dan beban panas radiasi. Sedangkan yang dimaksudkan beban panas internal adalah beban panas lampu, orang, peralatan, dan ventilasi.

### 2.1.3.1 Beban Konduksi Kaca (ASHRAE, 1993)

Beban konduksi kaca didapat dengan rumus:

$$RSHG_{\text{nonshade}} = U \times A_{\text{nonshade}} \times CLTD_{\text{corr}} \times Fc \quad (2.4a)$$

$$RSHG_{\text{shade}} = U \times A_{\text{shade}} \times \Delta T \quad (2.4b)$$

$$Fc = 1 - 0,02 \times k \quad (2.5)$$

$$k = \frac{(Uw \times Aw) + (Ug \times Ag)}{l} \quad (2.6)$$

dimana:

RSHG = *Room Sensible Heat Gain* (Btu/h)

U = Nilai konduktansi bahan (Btu/ft<sup>2</sup> °F h)

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

CLTD<sub>corr</sub> = CLTD *correction* (°F)

= CLTD<sub>tabel</sub> + (78 – *indoor*) + (*outdoor* - 85)

Fc = *Factor Correction*

Uw, Ug = Nilai konduktansi dinding dan kaca (Btu/ft<sup>2</sup> °F h)

Aw, Ag = Luas permukaan dinding dan kaca (ft<sup>2</sup>)

l = Keliling total permukaan fasade yang dikondisikan (ft)

ΔT = Perbedaan temperatur *outdoor* dan *indoor* (°F)

### 2.1.3.2 Beban Konduksi Dinding, Partisi, Lantai, dan Atap (ASHRAE, 1993)

Beban konduksi dinding dan atap didapat dengan rumus:

$$RSHG_{\text{non shade}} = U \times A_{\text{non shade}} \times CLTD_{\text{corr}} \times Fc \quad (2.7a)$$

$$RSHG_{\text{shade}} = U \times A_{\text{shade}} \times \Delta T \quad (2.7b)$$

dimana:

CLTD<sub>corr</sub> = (CLTD<sub>tabel</sub> x K) + (78 – *indoor*) + (*outdoor* - 85)

K = dinding warna: gelap (K=1), sedang (K=0,83), terang (K=0,65)

= atap warna: gelap (K=1) dan terang (K=0,5)

Beban konduksi partisi dan lantai didapat dengan rumus:

$$RSHG = U \times A \times \Delta T \quad (2.8)$$

### 2.1.3.3 Beban Radiasi Kaca (ASHRAE, 1993)

Beban radiasi kaca didapat dengan rumus:

$$RSHG_{\text{non shade}} = A_{\text{non shade}} \times SC \times SCL \times Fc \quad (2.9a)$$

$$RSHG_{\text{shade}} = A_{\text{shade}} \times SC \times SCL_{\text{north}} \times Fc \quad (2.9b)$$

dimana:

SC = *Shading Coeficient* kaca

SCL = *Solar Cooling Load Factor*

Keadaan shade, nilai SCL diambil untuk orientasi utara (*Cooling and Heating Load Calculation Manual*, p. 8.5)

### 2.1.3.4 Beban Panas Lampu (ASHRAE, 1993)

Beban panas lampu didapat dengan rumus:

$$RSHG = 3,41 \times INPUT \times Fu \times Fs \times CLF_{\text{LIGHT}} \quad (2.10)$$

dimana:

INPUT = Jumlah lampu yang terpasang (Watt)

Fu = *Use factor* = 1,00 (lampu digunakan = lampu terpasang)

Fs = *Special allowance factor* = 1,20

(*Cooling and Heating Load Calculation Manual*, p. 5.2)

CLF<sub>light</sub> = *Cooling Load Factor* untuk lampu

(*Cooling and Heating Load Calculation Manual*, p. 8.42)

### 2.1.3.5 Beban Panas Orang (ASHRAE, 1993)

Beban panas orang didapat dengan rumus:

$$RSHG = n \times Q_s \times CLF_{PEOPLE} \quad (2.11)$$

$$RLHG = n \times Q_l \quad (2.12)$$

dimana:

RLHG = Room Latent Heat Gain (Btu/h)

n = Jumlah orang

Q<sub>s</sub> = Beban panas orang sensibel (Btu/h)

Q<sub>l</sub> = Beban panas orang laten (Btu/h)

CLF<sub>people</sub> = Cooling Load Factor untuk orang

(*Cooling and Heating Load Calculation Manual*, p. 8.43)

### 2.1.3.6 Beban Panas Peralatan (ASHRAE, 1993)

Beban panas peralatan didapat dengan rumus:

$$RSHG = INPUT \times CLF_{EQUIPMENT} \quad (2.13)$$

dimana:

INPUT = Jumlah peralatan yang digunakan (Btu/h)

CLF<sub>equipment</sub> = Cooling Load Factor untuk peralatan

(*Cooling and Heating Load Calculation Manual*, p. 8.44)

### 2.1.3.7 Beban Panas Ventilasi (ASHRAE, 1993)

Beban panas ventilasi adalah beban panas yang terjadi karena faktor kesengajaan, yaitu karena pengadaan sirkulasi udara segar dari luar masuk ke dalam ruang yang dikondisikan (*Cooling and Heating Load Calculation Manual*, p. 6.1).

Beban panas ventilasi didapat dengan rumus:

$$RSHG = 1,1 \times n \times CFM \times \Delta T \quad (2.14)$$

$$RLHG = 4840 \times n \times CFM \times \Delta W \quad (2.15)$$

dimana:

n = Jumlah orang

CFM	= <i>Cubic feet per minute</i> , kebutuhan sirkulasi udara segar untuk tiap orang.
$\Delta T$	= Perbedaan temperatur <i>outdoor</i> dan <i>indoor</i> ( $^{\circ}F$ )
$\Delta W$ (lb/lb)	= Perbedaan rasio kelembaban <i>outdoor</i> dan <i>indoor</i>

#### 2.1.3.8 Beban Pendinginan Total (ASHRAE, 1993)

Beban pendinginan total diperoleh dengan menjumlahkan semua beban panas tersebut:

$$RSHG_{TOTAL} = RSHG_{(Konduksi+Radiasi+Orang+Lampu+Peralatan+Ventilasi)} \quad (2.16)$$

$$RLHG_{TOTAL} = RLHG_{(orang + vent.)} \quad (2.17)$$

$$TR = \frac{RSHG_{TOTAL} + RLHG_{TOTAL}}{12000} \quad (2.18)$$

dimana:

TR = *Tons of Refrigeration*, kapasitas pendinginan (TR)

#### 2.1.4 Perhitungan 'Rule Of Thumb'

Perhitungan 'Rule of Thumb' pada penelitian ini menggunakan acuan, dimana perhitungan ini didasarkan pada koefisien beban pendinginan dalam satuan  $m^2/TR$ . Sehingga jumlah beban pendinginan total adalah :

$$\text{beban pendinginan} = \text{koefisien} \times \text{luas lantai yang dikondisikan} \quad (2.19)$$

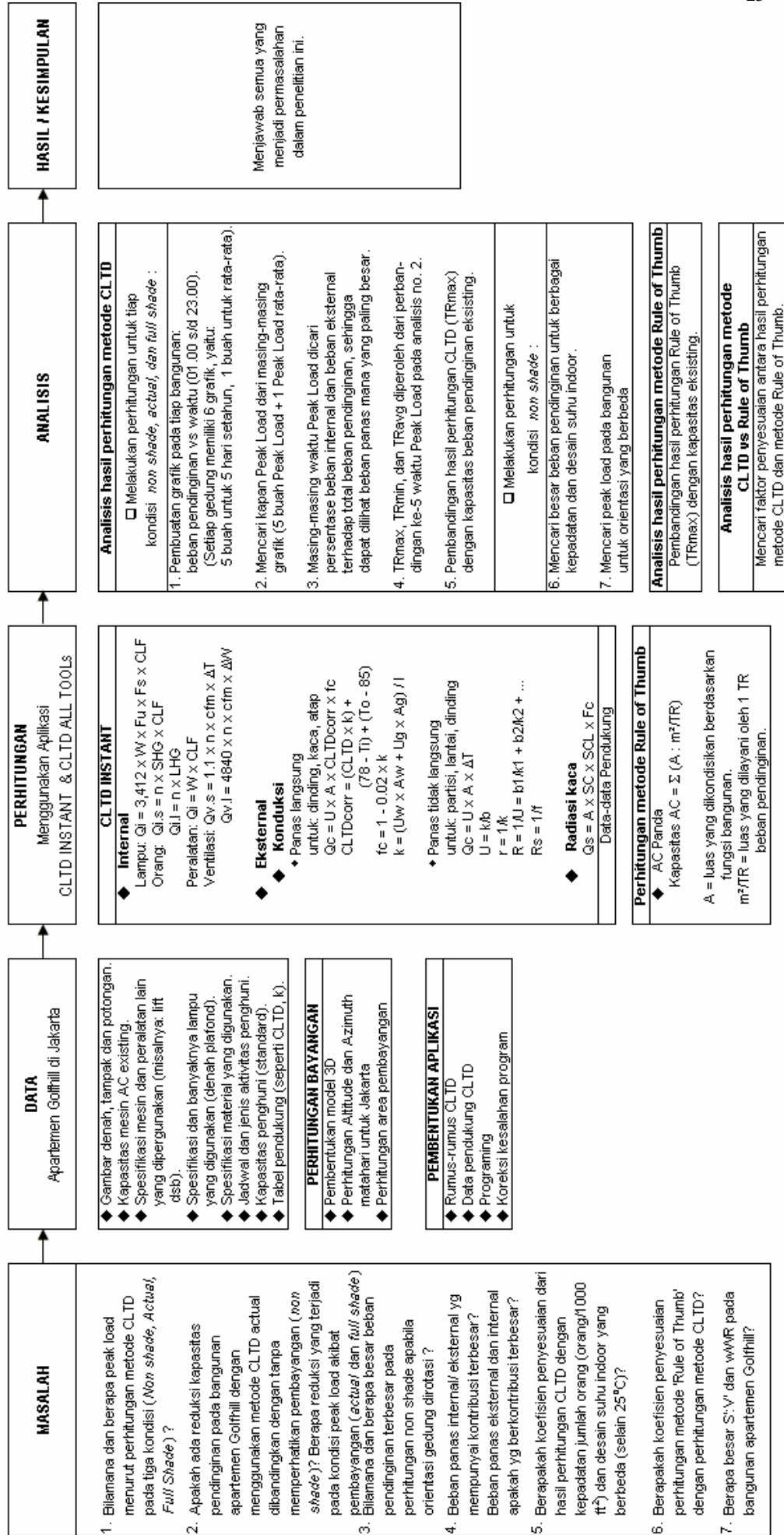
Perhitungan 'Rule of Thumb' disini menggunakan luas lantai untuk memudahkan perhitungan dan memberi gambaran berapa kira-kira besar beban pendinginan. Acuan perhitungan 'Rule of Thumb' yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- *Design and Cooling Load Check Figures Table* (AC Panda).

## 2.2 Hipotesis

- Akibat pembayangan, maka selubung luar bangunan tidak secara langsung menerima panas matahari. Ini berarti ada reduksi beban pendinginan apabila perhitungan memperhatikan faktor pembayangan dibandingkan dengan tidak memperhatikan faktor pembayangan.
- Besar beban pendinginan dengan menggunakan metode perhitungan CLTD akan berbeda untuk keadaan orientasi bangunan diputar (*rotation*) ataupun di *mirror*.

## 2.3 KERANGKA BERPIKIR



Gambar 2.3 Kerangka Berpikir