

P-5

**PERENCANAAN SISTEM PENDINGIN UDARA 25 LANTAI PADA
GEDUNG PERKANTORAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM AC
CENTRAL (WATER COOLED) DI JAKARTA**

**AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN OF 25TH FLOOR ON THE
OFFICE BUILDING WITH USING THE CENTRAL AC SYSTEM (WATER
COOLED) IN JAKARTA**

Mochamad Sugiri^{1*}, Srihanto²

^{1,2} Teknik Mesin, Institut Teknologi Budi Utomo, Jakarta
Jalan Mawar Merah No. 23, Pondok Kopi, Jakarta Timur

*E-mail: sugiri.moch@gmail.com

Diterima 08-09-2020	Diperbaiki 15-09-2020	Disetujui 7-12-2020
---------------------	-----------------------	---------------------

ABSTRAK

Fungsi utama sistem pengkondisian udara secara garis besar terbagi menjadi 2 (dua) yaitu memberikan kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang ada di dalamnya (Comfort Air Conditioning) dan juga pengaturan kondisi udara yang dapat mendukung pemrosesan bahan (Industrial Air Conditioning). Perhitungan beban pendinginan perlu dilaksanakan terlebih dahulu sebelum melakukan perhitungan sistem pendinginan udara di suatu ruangan. Hal ini diperlukan karena besarnya beban pendingin sangat berpengaruh terhadap pemilihan mesin pendingin udara (Air Conditioning), kapasitas mesin pendingin (Chiller), head pompa, kapasitas pompa dan daya motor pompa chiller, kapasitas menara pendingin (Cooling Tower), kebutuhan air untuk mendinginkan chiller, perhitungan pipa-pipa untuk mendinginkan chiller, perhitungan ducting untuk aliran udara bersih dan grille/diffuser sehingga kenyamanan dapat diperoleh. Penelitian ini menggunakan metodologi perencanaan yang memiliki proses tahapan perencanaan, yaitu: tahap persiapan, metode pengumpulan data, diagram alir perancangan dan metode pengolahan data. Dalam hal ini penulis merencanakan sistem pendingin udara dengan menggunakan AC Sentral (Water Cooled) untuk gedung perkantoran 25 lantai di Jakarta, dimana tinggi gedung adalah 115 meter dari permukaan laut, luas lantai untuk 25 lantai adalah sebesar 39.800,25 m² dengan suhu ruangan dipertahankan pada temperatur 23-25°C dan tingkat kelembaban (RH) 50-80%. Dari hasil perhitungan perencanaan diperoleh: a) beban kalor total (Qt) sebesar 15.049.931,69 Btu/jam atau 1.254,16 TR; b) beban kalor per m² adalah sebesar 378,13 Btu/m² atau 0,031 TR/ m² atau 108,934 Watt/m²; c) kebutuhan udara segar per m² adalah sebesar 1,57 CFM atau 0,74 l/s, dengan demikian dibutuhkan 1 (satu) mesin supply fan (SF) tipe Sentrifugal dengan kapasitas mesin SF sebesar 62.500 CFM atau 29.496,71 l/s; d) daya pompa air dingin (CHWP) sebesar 470,174 kW atau 638,823 HP, dimana dibutuhkan 4 (empat) unit pompa (3 unit jalan, 1 unit standby) dengan kapasitas pompa yang digunakan sebesar 779.742,28 liter/jam atau 13,32 m³/menit, dengan head total pompa (Ht) 172,77 mH₂O dan efisiensi pompa 0,8-0,9; e) daya pompa untuk pendingin kondensor (CWP) sebesar 400,961 kW atau 544,783 HP, dimana dibutuhkan 4 (empat) unit pompa (3 unit jalan, 1 unit standby) dengan head total pompa (Ht) 147,3377 mH₂O dan efisiensi pompa 0,8-0,9. Dari hasil perencanaan ini diharapkan memberikan penyegaran udara yang fungsinya tidak hanya untuk kenyamanan saja namun juga untuk menjaga kestabilan, temperatur, kelembaban, distribusi, kebersihan udara, kadar oksigen yang cukup untuk kondisi yang dikehendaki.

Kata Kunci: Pengkondisian Udara, Perencanaan, Beban Pendingin, AC Central, Water Cooled.

ABSTRACT

The main function of the air conditioning system is broadly divided into 2 (two), namely providing comfortable conditions needed by the occupants in it (Comfort Air Conditioning) and also regulating air conditions that can support the processing of materials (Industrial Air Conditioning). Calculation of the cooling load needs to be done first before carrying out the calculation of the air cooling system in a room. This is necessary because the magnitude of the cooling load is very influential on the selection of the air conditioning engine (Air Conditioning), the capacity of the cooling engine (Chiller), pump head, pump capacity and motor power of the chiller pump, the cooling tower capacity (Cooling Tower), the need for water to cool the chiller, calculation of pipes to cool the chiller, calculation of ducting for clean air flow and grille / diffuser so that comfort can be obtained. This study uses a planning methodology that has a planning stage process, namely: the preparation stage, the data collection method, the design flow chart and the data processing method. In this case the authors plan an air conditioning system using Central Air Conditioning (Water Cooled) for a 25-story office building in Jakarta, where the height of the building is 115 meters above sea level, the floor area for 25 floors is 39,800.25 m² with room temperature maintained at temperature 23-25 ° C and humidity level (RH) 50-80%. From the calculation results obtained planning: a) the total heat load (Q_t) of 15,049,931.69 Btu/hour or 1,254.16 TR; b) the heat load per m² is 378.13 Btu/m² or 0.031 TR/m² or 108.934 Watt/m²; c) the need for fresh air per m² is 1.57 CFM or 0.74 l/s, thus 1 (one) Centrifugal type fan supply (SF) machine with an SF engine capacity of 62,500 CFM or 29,496.71 l/s ; d) cold water pump power (CHWP) of 470,174 kW or 638,823 HP, where it takes 4 (four) pump units (3 units of road, 1 unit of standby) with a pump capacity used of 779,742.28 liters/hour or 13.32 m³/minute, with a total pump head (Ht) 172.77 mH₂O and pump efficiency 0.8-0.9; e) pump power for condenser coolant (CWP) of 400,961 kW or 544,783 HP, where 4 pump units (3 units of road, 1 unit standby) with a total pump head (Ht) of 147,3377 mH₂O and pump efficiency of 0.8 -0.9.

Keywords: Air Conditioning, Design, Cooling Load, Central AC, Water Cooled.

PENDAHULUAN

Fungsi utama sistem pengkondisian udara secara garis besar terbagi menjadi dua yaitu memberikan kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang ada di dalamnya (*comfort air conditioning*) dan juga pengaturan kondisi udara yang dapat mendukung pemrosesan bahan (*industrial air conditioning*).

Pada penelitian ini adalah ruangan yang didinginkan adalah ruang gedung perkantoran yang terdiri dari 25 lantai dan dari hasil pengamatan terhadap ruang gedung perkantoran didapatkan data-data yang terdiri dari perlengkapan seperti meja, kursi, komputer, lampu dan lift. Adapun pengukuran ruang gedung perkantoran adalah panjang, lebar, tinggi ruang dan jumlah lantai. Untuk menjaga suhu ruangan agar nyaman, maka suhu dipertahankan pada temperatur 23-25°C dan tingkat kelembaban (RH) 50-80%. Dengan demikian penulis merencanakan sistem pendingin udara yang dipergunakan untuk gedung perkantoran 25 lantai.

Perhitungan beban pendingin perlu dilaksanakan terlebih dahulu sebelum melakukan perhitungan sistem pendinginan udara di suatu ruangan. hal ini diperlukan karena besarnya beban pendingin sangat berpengaruh terhadap pemilihan mesin

pendingin udara (*Air Conditioner*), kapasitas Mesin Pendingin (*Chiller*), head pompa, kapasitas pompa dan daya motor pompa *chiller*, kapasitas Menara Pendingin (*Cooling Tower*), kebutuhan air untuk mendinginkan *chiller*, perhitungan pipa-pipa untuk mendinginkan *chiller*, perhitungan *ducting* untuk aliran udara bersih dan *grille/diffuser* sehingga kenyamanan dapat diperoleh. Beban pendinginan dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik faktor dari dalam ruangan (*internal heat gains*) yang meliputi orang-orang, lampu, dan peralatan elektronik yang menghasilkan kalor. Kemudian faktor dari luar ruangan (*external heat gains*) yang meliputi konduksi melalui dinding, atap, lantai dan radiasi dari matahari yang melewati kaca.

Oleh karena itu perlu analisa perhitungan sistem pendingin yang ada di ruang gedung perkantoran 25 lantai, sehingga didapat pemilihan sistem pendingin udara yang tepat guna memberikan kenyamanan bagi orang yang ada di dalamnya.

Ruang lingkup dari penelitian adalah bagaimana mendapatkan beban pendingin yang tepat untuk pemilihan sistem pendingin yang tepat untuk gedung perkantoran 25 lantai.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a) Menentukan besar beban pendingin

- b) Menentukan sistem pendingin pada gedung
- c) Menentukan komponen pada sistem pendingin
- d) Menghasilkan rancangan sistem AC pada gedung sesuai yang direncanakan.

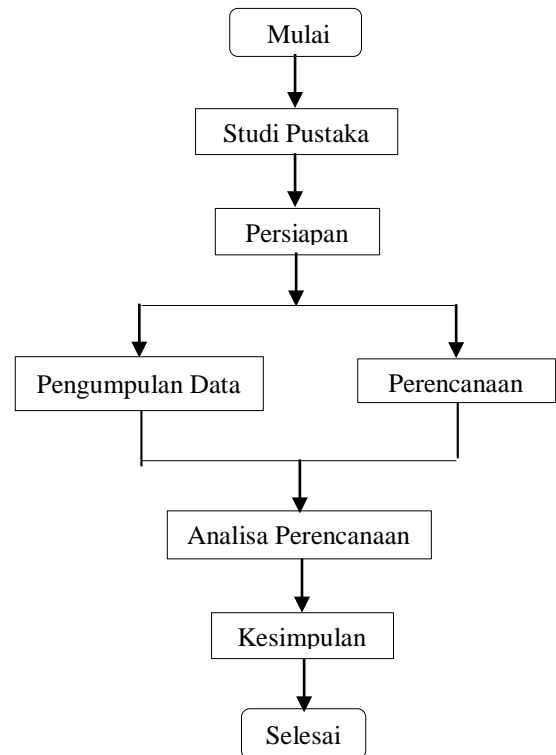
Mengingat betapa luas dan kompleksnya permasalahan pada mesin pendingin, maka batasan dari penelitian ini hanya pada perencanaan sistem pendinginan untuk sistem AC central, cara perhitungan harus sesuai dengan metode perhitungan pada referensi yang ada sehingga permasalahan dapat terarah dan tidak melebur.

METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan tahap persiapan merupakan kegiatan perencanaan sebelum mengumpulkan data dan pengolahan data. Di dalam tahap persiapan ini disusun hal-hal penting yang harus dilakukan untuk efisiensi waktu perencanaan. Tahapan persiapan mencakup antara lain : pengumpulan data dan studi pustaka.

Setelah tahap persiapan, maka penelitian dilanjutkan ke tahap pengumpulan data-data yang diperlukan untuk perencanaan sistem pendingin udara central untuk gedung perkantoran di Jakarta sebagai berikut :

- a) Informasi mengenai bentuk gedung yang akan dipasang AC central.
- b) Luas ruang perlantai dan total luas yang akan dipergunakan untuk perkantoran.
- c) Volume ruang perlantai dengan mengetahui tinggi ruang perlantai.
- d) Mengumpulkan data untuk alat-alat yang akan dipergunakan untuk perencanaan.
- e) Mengumpulkan data-data tipe penyegar udara (air conditioner), mesin pendingin (chiller), pompa-pompa, menara pendingin, kipas (*exhaust fan*) yang akan digunakan dalam perencanaan ini.
- f) Serta data-data penunjang lainnya seperti referensi buku dari pengarang dalam dan luar negeri.



Gambar 1. Diagram alir perencanaan

Bangunan yang akan dikondisikan udaranya adalah sebuah gedung perkantoran yang terletak di Jakarta pada 107° garis bujur timur dan 6° garis lintang selatan dan elevasi 8 meter di atas permukaan laut. Pengkondisian udara dalam gedung ini direncanakan untuk mencapai kondisi udara dalam ruangan-ruangan kantor sebagai berikut :

- a) Temperatur = $23^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$
- b) Kelembaban = 50% - 80%
- c) Pertukaran udara = 8 - 10 kali perjam
- d) Pertukaran udara pada area parkir kendaraan = 6 kali perjam
- e) Kondisi udara luar : temperatur bola basah = 27°C , temperatur bola kering = 32°C , kelembaban relatif rata-rata = 77% - 82%, beda temperature harian rata-rata = 8°C .

Ruangan yang didinginkan adalah terdiri dari beberapa ruangan, setiap ruangan terdapat beberapa peralatan seperti : komputer, cpu komputer, note book, meja komputer, kursi, lampu penerangan dan terdapat juga ruang koridor (lorong masuk ke ruangan). Ada beberapa ruang yang tidak didinginkan yaitu ruang mesin, ruang lift, ruang shaft untuk instalasi pipa dan saluran udara, ruangan tersebut dianggap partisi.

Bangunan ini berfungsi sebagai kantor dan sarana penunjangnya, data yang dipakai untuk perencanaan ini adalah sebagai berikut :

- a) Tinggi langit-langit : Kantor = 2,8 m, Lobby lift & koridor = 3,0 m
- b) Tinggi lantai ke lantai
Lantai Basement 1 s/d 3 = 3,2 m, Lantai Basement Semi Basement = 4,9 m, Lantai Dasar = 12,6 m, Lantai 2 s/d 25 = 4,2 m, Lantai Roof = 5,9 m, Top Roof (Crown) = 10,65 m
- c) Tinggi bangunan dari permukaan = 115 m
- d) Ukuran ruang kantor perlantai : Panjang = 39,90 m, Lebar = 39,90 m, Tinggi : 3,00 m
- e) Luas lantai dasar s/d lantai 25
Luas bersih = 29.517 m², Luas koridor = 10.265 m², Total luas = 39.782 m²
- f) Jendela (kaca) : Low of emision
Tebal = 8 mm, Lebar = 1,36 m, Tinggi = 4,20 m, Jumlah kaca : 118 buah per lantai
- g) Dinding luar : Hebel dipleser
- h) Atap : Beton tebal 12 cm
- i) Jumlah lantai : 30 (Lantai Basement 3 s/d Lantai Roof)
- j) Jumlah orang perlantai : ± 250 orang (1 orang = 6 – 8 m²)
- k) Perlengkapan peralatan kantor perlantai
Jumlah computer = 200 buah, Jumlah note book = 50 buah, Jumlah lampu tipe LED 36 Watt = 195 buah, Jumlah lampu tipe Bulb 13 Watt = 47 buah, Jumlah meja = 200 buah, Jumlah kursi = 200 buah

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi Perencanaan

- a) Kondisi udara luar kota Jakarta
- Temperatur bola kering = 32°C.
- Temperatur bola basah = 27°C.
- Perubahan temperatur harian = 8°C.
Dari diagram Psikometrik diperoleh :
- Kadar uap lembab = 0,0206 kg/kg.
- Kelembaban Relatif = 68%.
- Entalpi = 85 kJ/kg.
- Temperatur jenuh = 25,6°C.
- b) Kondisi udara dalam
- Temperatur bola kering = 23°C.
- Kelembaban Relatif = 50%
Dari diagram Psikometrik diperoleh :
- Temperatur bola basah = 16°C.
- Kelembaban Relatif = 68%.
- Entalpi = 44,8 kJ/kg.
- Temperatur jenuh = 11°C.

2. Perhitungan Beban Pendingin

a) Beban Kalor Sensibel Parimeter (Tepi)

Beban Radiasi Matahari (Qr)

$$Q_r = A_j \times q_r \times t_f \times s_f \quad (\text{kcal/jam})$$

Dimana :

A_j (Luas jendela) = lebar kaca x tinggi

kaca x jumlah kaca per lantai
 q_r = jumlah radiasi (garis lintang utara = 0, pada bulan Juni 135-666 kcal/m² jam)

t_f = faktor transmisi jendela

s_f = shading factor (factor bayangan)

= 10% - 30% dari radiasi matahari

Maka :

$$\begin{aligned} Q_r \text{ Lantai Dasar} &= (1,36 \text{ m} \times 12,6 \text{ m} \times 118) \text{ m}^2 \times 135 \text{ kCal/m}^2\text{jam} \times 0,95 \times 10\% \\ &= 25.938,3 \text{ kCal/jam} = 102.862,6 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Qr Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal 24 lantai)

$$\begin{aligned} \text{lantai} &= (1,36 \text{ m} \times 4,2 \text{ m} \times 118 \text{ bh}) \text{ m}^2 \times 135 \text{ kCal/m}^2\text{jam} \times 0,95 \times 10\% \\ &= 8.644,05 \text{ kCal/jam} \times 24 \text{ lantai} \\ &= 207.457,2 \text{ kCal/jam} \\ &= 822.706,137 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Total } Q_r = (102.862,6 + 822.706,137) \text{ Btu/jam} = 925.568,73 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{Total } Q_r = (102.862,6 + 822.706,137) \text{ Btu/jam} = 925.568,73 \text{ Btu/jam}$$

Total Qr

$$= (102.862,6 + 822.706,137) \text{ Btu/jam}$$

$$= 925.568,73 \text{ Btu/jam}$$

Beban Kalor Jendela (Qj)

$$Q_j = A_j \times k_j \times (t_2 - t_1) \quad (\text{kcal/jam})$$

Dimana :

A_j (Luas jendela) = lebar kaca x tinggi kaca x jumlah kaca per lantai

k_j = koefisien kalor melalui kaca

$$= 5,5 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C}$$

$$t_2 - t_1 = 32^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C} = 9^\circ\text{C}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q_j \text{ Lantai Dasar} &= (1,36 \text{ m} \times 12,6 \text{ m} \times 118) \text{ m}^2 \times 5,5 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \times 9^\circ\text{C} \\ &= 100.112,76 \text{ kCal/jam} \\ &= 397.013,85 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$= 100.112,76 \text{ kCal/jam}$$

Qj Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal 24 lantai)

$$\begin{aligned} \text{lantai} &= (1,36 \text{ m} \times 4,2 \text{ m} \times 118) \text{ m}^2 \times 5,5 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \times 9^\circ\text{C} \\ &= 33.363 \text{ kCal/jam} \times 24 \text{ lantai} \\ &= 800.712 \text{ kCal/jam} \\ &= 3.175.357,02 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$= 33.363 \text{ kCal/jam} \times 24 \text{ lantai}$$

$$= 800.712 \text{ kCal/jam}$$

$$= 3.175.357,02 \text{ Btu/jam}$$

Total Qj

$$= (397.013,85 + 3.175.357,02) \text{ Btu/jam}$$

$$= 3.572.370,87 \text{ Btu/jam}$$

Beban kalor sensible Infiltrasi (Qi)

$$Q_i = V_r \times 1,5 \times (0,24/V_s) \times (t_2 - t_1) \quad (\text{kcal/jam})$$

Dimana :

V_r = Volume ruangan (m³) = (P x L x T)

U_n = udara pengganti alamiah (1,5–2 kali)

V_s = volume spesifik udara (0,866 m³/kg)

Maka :

$$\begin{aligned} Q_i \text{ Lantai Dasar} &= (39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m} \times 11,4 \text{ m}) \text{ m}^3 \times 1,5 \times (0,24/0,866 \text{ m}^3/\text{kg}) \times (32^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) \\ &= 67.867,84 \text{ kCal/jam} \\ &= 269.141,24 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$= 67.867,84 \text{ kCal/jam}$$

$$= 269.141,24 \text{ Btu/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Qi Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal 24 lantai)} &= (39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}) \text{ m}^3 \times \\ &1,5 \times (0,24/0,866 \text{ m}^3/\text{kg}) \times (32^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) \\ &= 17.859,96 \text{ kCal/jam} \times 24 \text{ lantai} \\ &= 428.639,14 \text{ kCal/jam} \\ &= 1.699.840,02 \text{ Btu/jam} \\ \text{Total Qi} &= (269.141,24 + 1.699.840,02) \text{ Btu/jam} \\ &= 1.968.981,26 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Beban Transmisi kalor melalui dinding (Qd)

$$Q_d = A_d \times k_d \times (t_2 - t_1) \quad (\text{kCal/jam})$$

Dimana :

$$A_d = \text{luas penampang dinding core} \\ = (\text{lebar} \times \text{panjang}) \text{ m}^2$$

$$k_d = \text{koefisien kalor dinding} \\ = 1,62 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C}$$

$$t_2 - t_1 = 32^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C} = 9^\circ\text{C}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Qd Lantai Dasar} &= (117,6 \text{ m} \times 11,4 \text{ m} \times \\ &8 \text{ m}) \text{ m}^3 \times 1,62 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \times 9^\circ\text{C} \\ &= 156.372,24 \text{ kCal/jam} \\ &= 620.120,2 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Qd Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal 24 lantai)} &= (117,6 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 8 \text{ m}) \text{ m}^3 \times 1,62 \\ &\text{kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \times 9^\circ\text{C} \\ &= 41.150,59 \text{ kCal/jam} \times 24 \text{ lantai} \\ &= 987.614,2 \text{ kCal/jam} \\ &= 3.916.548,88 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Qd} &= (620.120,2 + 3.916.548,88) \text{ Btu/jam} \\ &= 4.536.669,08 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Beban Transmisi kalor melalui atap (Qat)

$$Q_{at} = A_a \times k_t \times (t_2 - t_1) \quad (\text{kCal/jam})$$

Dimana :

$$A_a = \text{luas atap (m}^2\text{)} \\ = 39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m} = 1.592,01 \text{ m}^2$$

$$k_t = \text{koefisien transmisi bahan atap} \\ = \text{Tebal beton 150 mm dengan langit-} \\ \text{langit} = 1,81 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C}$$

$$t_2 - t_1 = 32^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C} = 9^\circ\text{C}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Qat Lantai Dasar} &= (39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m}) \text{ m}^2 \\ &\times 1,81 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \times 9^\circ\text{C} \\ &= 25.933,84 \text{ kCal/jam} \\ &= 102.844,96 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Qat Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal 24 lantai)} &= (39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m}) \text{ m}^2 \times 1,81 \\ &\text{kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \times 9^\circ\text{C} \\ &= 25.933,84 \text{ kCal/jam} \times 24 \text{ lantai} \\ &= 622.412,16 \text{ kCal/jam} \\ &= 2.468.279,26 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Total Qat

$$\begin{aligned} &= (102.844,96 + 2.468.279,26) \text{ Btu/jam} \\ &= 2.571.124,22 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Beban ruang pendinginan (Qro)

$$Q_{ro} = \text{beban 1 s/d 5 x fb} \quad (\text{kCal/jam})$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \text{fb} &= \text{faktor beban kalor tersimpan} \\ &= 10\% - 20\% \end{aligned}$$

Jadi Qro

$$\begin{aligned} &= (\text{Total } Q_r + \text{Total } Q_j + \text{Total } Q_i + \\ &\text{Total } Q_d + \text{Total } Q_{at}) \times 10\% \\ &= \mathbf{14.932.212,57 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

Beban kalor laten perimeter (Qlp)

$$Q_{lp} = V_r \times V_i \times 597,3 \text{ kcal/kg} \times (W_2 - W_1) \\ (\text{kCal/jam})$$

Dimana :

$$V_r = \text{Volume ruangan (m}^3\text{)} = (P \times L \times T)$$

$$V_i = \text{Ventilasi alamiah} = 1,5 \text{ kali}$$

$$\begin{aligned} W_2 - W_1 &= \text{beda kelembaban (RH)} \\ &= 4\% - 5\% \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Qlp Lantai Dasar} &= (39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m} \times \\ &11,4 \text{ m}) \text{ m}^3 \times 1,81 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \times 9^\circ\text{C} \\ &= 813.025,79 \text{ kCal/jam} \\ &= 3.224.189,41 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Qlp Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal 24 lantai)} &= (39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}) \text{ m}^3 \times \\ &1,5 \times 597,3 \text{ kcal/kg} \times 5\% \\ &= 213.954,2 \text{ kCal/jam} \times 24 \text{ lantai} \\ &= 5.134.900,8 \text{ kCal/jam} \\ &= 20.363.305,8 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Qlp} &= (3.224.189,41 + 20.363.305,8) \text{ Btu/jam} \\ &= 23.587.495,21 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

b) Beban Kalor Sensible Dalam Ruangan

Beban lantai dan atap (Qlt)

$$Q_{lt} = A_{lt} \times k_l \times (t_2 - t_1) \quad (\text{kCal/jam})$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_{lt} &= \text{luas lantai atau luas atap} \\ &= 39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m} = 1.592,01 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_l &= \text{koefisien kalor lantai (Tabel 2.4)} \\ &= \text{Tebal beton 150 mm dengan langit-} \\ &\text{langit} = 77,9 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$t_2 - t_1 = 32^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C} = 9^\circ\text{C}$$

Maka :

Total Qlt

$$\begin{aligned} &= (39,9 \text{ m} \times 39,9 \text{ m}) \text{ m}^2 \times 77,9 \text{ kCal/m}^2\text{jam}^\circ\text{C} \\ &\times 9^\circ\text{C} \\ &= 1.116.158,21 \text{ kCal/jam} \times 25 \text{ lantai} \\ &= 27.903.955,25 \text{ kCal/jam} \\ &= \mathbf{110.657.790 \text{ Btu/jam}} \end{aligned}$$

Beban kalor orang dalam ruangan (Qor)

$$Q_{or} = N_o \times k_s \quad (\text{kCal/jam})$$

Dimana :

No = jumlah orang. Perencanaan 250
Orang perlantai 1 orang = 6-8 m²)
ks = kalor sensibel orang
* 46 kcal/jam – 52 kcal/jam : diam
* 62 kcal/jam – 110 kcal/jam :
Bekerja

Maka :

Total Qor Dasar s/d Lantai 25 (Tipikal 25 lantai) = 250 Orang x 62 kCal/jam
= 15.500 kCal/jam x 25 lantai
= 387.500 kCal/jam
= **1.536.695,9 Btu/jam**

Beban kalor peralatan dalam ruangan (Qa)

Qa = peralatan x 0,860 kCal/kW x fk
(kCal/jam)

Dimana :

Peralatan, misalnya :

Lampu pijar = 0,860 kcal/kW

Lampu neon = 1 kcal/kW

fk = faktor penggunaan alat (%)

Total lampu = 242 buah

Maka :

Total Qa Lantai Dasar s/d Lantai 25 (Tipikal 25 lantai) = 242 buah x 0,860
kCal/kW x 0,5
= 104,06 kCal/jam x 25 lantai
= 2.601,50 kCal/jam
= **10.316,68 Btu/jam**

Beban kalor laten orang (Qlo)

Qlo = No x kl x fk (kCal/jam)

Dimana :

No = jumlah orang dalam ruangan

kl = kalor laten orang

*32 kCal/jam – 49 kcal/jam : diam

*55 kCal/jam – 128 kcal/jam :

bekerja

Maka :

Total Qlo Lantai Dasar s/d Lantai 25 (Tipikal 25 lantai)
= 250 Orang x 55 kCal/jam x 0,5
= 6.875 kCal/jam x 25
= 171.875 kCal/jam
= **681.598,98 Btu/jam**

c) Beban Kalor Mesin

Beban kalor udara masuk (Qm)

Qm = qu x Vs x 24 kcal/kg x (t2 – t1)

Dimana :

Vs = Volume spesifik udara

qu = jumlah udara masuk (pengganti udara yang menguap karena memasak) untuk masakan panas
= 150 g/jam

0,24 = kalor spesifik udara dari 1 kg udara Kering

Maka :

Total Qm Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal)

= 150 g/jam x 0,24 x 24 kCal/kg x 9°C

= 7.776 kCal/jam x 24 lantai

= 186.624 kCal/jam = **740.088,6 Btu/jam**

Beban alat mesin pendingin (Qms)

Qms = kW x 0,860 kcal/kW x eff

Dimana :

Eff = efisiensi motor = 0,8

Perencanaan :

Total FCU = 17 unit perlantai

Kapasitas perunit FCU = 1 TR = 3,51 kW

Maka :

Total Qms Lantai 2 s/d Lantai 25 (Tipikal)

= (17 x 3,51 kw) x 0,860 kcal/kW x 0,8

= 41.05 kCal/jam x 25 lantai

= 1.026,25 kCal/jam = **4.069,7 Btu/jam**

Beban sensibel kenaikan kebocoran udara saluran (Qc)

Qc = (beban Qms+Qc) x factor kebocoran

Dimana :

Factor kebocoran udara saluran = 0,1 – 0,2

Qc = Qms x 2%

= 1.026,25 kCal/jam x 2%

= 20,52 kCal/jam

Maka :

Total Qc Lantai Dasar s/d Lantai 25

(Tipikal 25 lantai) = (1.026,25 kCal/jam + 20,52 kCal/jam) x 0,2

= 209,35 kCal/jam x 25 lantai

= 5.223,75 kCal/jam = **20.715,65 Btu/jam**

Beban kalor laten kebocoran udara luar (Qu)

Qu = V x Vs x fc

Dimana :

V = Udara masuk (18 m³/Orang)

Vs = Volume spesifik udara luar (0,24 m³/kg)

fc = faktor pencampuran uap di dalam dan di luar = 0,8

Maka :

Total Qu Lantai Dasar s/d Lantai 25

(Tipikal 25 lantai) = (18 m³/Orang x 250
Orang) m³ x 0,24 m³/kg x 0,8

= 864 kCal/jam x 25 lantai

= 21.600 kCal/jam = 85.658,4 Btu/jam

d) Perhitungan Beban Kalor Total

Total Beban Kalor Sensibel (QS) :

= (Qr + Qj + Qd + Qat + Qlt + Qor + Qa +
Qm + Qc) Btu/jam

$$\begin{aligned}
 &= (925.568,73 + 3.572.370,87 + \\
 &4.536.669,08 + 2.571.124,22 + \\
 &110.657,79 + 1.536.695,90 + 10.316,68 \\
 &+ 4.069,70 + 20.715,65) \text{ Btu/jam} \\
 &= \mathbf{13.288.188,62 \text{ Btu/jam}}
 \end{aligned}$$

Total Beban Kalor Laten (QL) :

$$\begin{aligned}
 &= (Q_{lo} + Q_u) \text{ Btu/jam} \\
 &= (681.598,98 + 85.658,40) \text{ Btu/jam} \\
 &= \mathbf{767.257,38 \text{ Btu/jam}}
 \end{aligned}$$

Beban Kalor Terkoreksi (QK) :

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Total Beban Sensibel} + \text{Total Beban} \\
 &\text{Laten}) \times 10\% \\
 &= (Q_S + Q_L) \times 10\% \\
 &= (13.288.188,62 \text{ Btu/jam} + 767.257,38 \\
 &\text{ Btu/jam}) \times 10\% \\
 &= 14.055.446 \times 10\% \\
 &= \mathbf{1.405.544,60 \text{ Btu/jam}}
 \end{aligned}$$

Beban Kalor Total (QT)

$$\begin{aligned}
 &= Q_S + Q_L + Q_K \\
 &= 13.288.188,62 + 767.257,38 + \\
 &1.405.544,60 \\
 &= \mathbf{15.460.990,6 \text{ Btu/jam}} \\
 &= \mathbf{1.288,41 \text{ TR}}
 \end{aligned}$$

Rasio Beban Pendingin terhadap Luas Ruang

$$\begin{aligned}
 &\text{Rasio :} \\
 &= \text{Beban kalor total} / \text{Total luas ruangan} \\
 &= \frac{(15.460.990,6 \text{ Btu/jam})}{(39,90 \text{ m} \times 39,90 \text{ m} \times 25 \text{ lantai})} \\
 &= \mathbf{388,46 \text{ Btu/m}^2} = \mathbf{0,03 \text{ TR/m}^2} \\
 &= \mathbf{105,42 \text{ Watt/m}^2}
 \end{aligned}$$

3. Perencanaan udara ventilasi (Air Duct Design)

- a) Jumlah Udara yang Diperlukan untuk Pendinginan

$$G = \frac{H_s}{0,24 (t_r - t_a)} \quad (\text{kg/jam})$$

Dimana :

$$G = \text{berat udara yang dimasukkan} \quad (\text{kg/jam})$$

$$H_s = \text{beban kalor sensibel ruangan} \quad (\text{kcal/jam})$$

$$\begin{aligned}
 &= Q_{lt} + Q_{or} + Q_a + Q_m + Q_c \\
 &= 110.657,79 + 1.584.283,90 + \\
 &10.316,68 + 783.583,04 + 64.552,12 \\
 &= 2.553.393,53 \text{ Btu/jam} \\
 &= 643.874,95 \text{ kCal/jam}
 \end{aligned}$$

t_a = temperatur udara masuk ruangan 32°C

t_r = temperatur udara ruangan 23°C

$$G = \frac{643.874,95 \text{ kCal/jam}}{0,24 (32^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C})}$$

$$= 298.090,25 \text{ kg/jam (Total 25 lantai)}$$

$$= 11.923,61 \text{ kg/jam / lantai}$$

$$= 3,312 \text{ kg/detik / lantai}$$

Dengan demikian volume udara masuk ruangan :

$$Q = V \times G$$

Dimana :

Q = volume udara masuk ruangan (m^3/jam)

V = volume spesifik udara masuk (m^3/kg)

$$= 0,24 \text{ m}^3/\text{kg} = \text{kalor spesifik udara dari} \\ 1 \text{ kg udara kering}$$

Maka :

$$Q = 0,24 \text{ m}^3/\text{kg} \times 11.923,61 \text{ kg/jam}$$

$$= 2.861,67 \text{ m}^3/\text{jam / lantai}$$

$$= 2.861,67 \text{ CMH / lantai}$$

$$= 2.861,67 \text{ m}^3/\text{jam} / 1.592,01 \text{ m}^2$$

$$= 1,79 \text{ m}^3/\text{jam per m}^2$$

$$= 2.861,67 \text{ CMH} / 1,7$$

$$= 1.683,33 \text{ CFM / lantai}$$

$$= 1,057 \text{ CFM} / \text{m}^2 = 0,498 \text{ l/s} / \text{m}^2$$

- b) Perhitungan jumlah udara segar / udara primer

- Jumlah penghuni = 250 orang / lantai.

- Kebutuhan udara segar per orang
= 10 CFM – 15 CFM.

(Handbook of Air Conditioning System Design, Carrier Air Conditioning Company, Tabel 45 – Ventilation Standards)

- Air Quantity udara primer suplay untuk satu lantai = $250 \times 10 \text{ CFM} = 2.500 \text{ CFM}$

- Kebutuhan untuk 25 lantai

$$= 2.500 \text{ CFM} \times 25 \text{ lantai} = 62.500 \text{ CFM.}$$

- Kebutuhan udara segar per meter persegi

$$= \frac{62.500 \text{ CFM}}{39.800,25 \text{ m}^2} = \mathbf{1,57 \text{ CFM}} = \mathbf{0,74 \text{ l/s}}$$

Pada perencanaan ini digunakan 1 mesin Supply Fan (SF) type : sentrifugal, maka kapasitas mesin SF = 62.500 CFM = 29.496,71 l/s

- c) Menentukan Ukuran Saluran Udara Segar

Direncanakan tiap meter persegi membutuhkan udara segar = $\mathbf{1,57 \text{ CFM}} = \mathbf{0,74 \text{ l/s}}$, maka kecepatan udara yang direncanakan dapat dilihat pada tabel 1 adalah 7,0 – 11 m/s.

Direncanakan kecepatan udara = 11 m/s.

Untuk kerugian gesek per meter panjang saluran sebesar 0,1 – 0,2 mmH₂O, dalam perencanaan kerugian gesek yang diambil = 0,14 mmH₂O = 1,4 Pa/m.

Dengan referensi dari ASHRAE Pocket Guide (SI Edition) halaman 1 - 8, maka ukuran ductingnya adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 1) Lantai 21 s/d Lantai 25 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	29.496,71	1.116	7,6	2.350 x 500
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-1)	70	152	3,6	200 x 100
E - F (FCU-2)	42	133	3,4	150 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
F - G	440	305	4,0	400 x 200
G - H (FCU-17)	70	152	3,6	200 x 100
F' - G'	440	305	4,0	400 x 200
H - I	420	286	2,7	350 x 200
I - J (FCU-3)	70	152	3,6	200 x 100
H' - I'	420	286	2,7	350 x 200
J - K	270	266	2,4	300 x 200
K - L (FCU-4)	42	133	3,4	150 x 100
J' - K'	270	266	2,4	300 x 200
L - M	230	244	2,6	250 x 200
M - N (FCU-5)	42	133	3,4	150 x 100
L' - M'	230	244	2,6	250 x 200
N - O	210	219	2,4	200 x 200
O - P (FCU-6)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	210	219	2,4	200 x 200
P - Q	120	189	2,2	200 x 150
Q - R (FCU-7)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	120	189	2,2	200 x 150
R - S (FCU-8)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 2. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 2) Lantai 21 s/d Lantai 25 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	29.496,71	1.116	7,6	2.350 x 500
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-9)	70	152	3,6	200 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
E - F	440	305	4,0	400 x 200
F - G (FCU-10)	42	133	3,4	150 x 100
G - H	440	305	4,0	400 x 200
H - I (FCU-11)	42	133	3,4	150 x 100
G' - H'	440	305	4,0	400 x 200
I - J	420	286	2,7	350 x 200
J - K (FCU-12)	70	152	3,6	200 x 100
I' - J'	420	286	2,7	350 x 200
K - L	270	266	2,4	300 x 200
L - M (FCU-13)	70	152	3,6	200 x 100
K' - L'	270	266	2,4	300 x 200
M - N (FCU-14)	70	152	3,6	200 x 100
N - O	230	244	2,6	250 x 200
O - P (FCU-15)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	230	244	2,6	250 x 200
P - Q	210	219	2,4	200 x 200
Q - R (FCU-16)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	210	219	2,4	200 x 200
R - S	120	189	2,2	200 x 150
S - T (FCU-18)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 3 Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 1) Lantai 16 s/d Lantai 20 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	24.700	1.405	8,0	1.950 x 850
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-1)	70	152	3,6	200 x 100
E - F (FCU-2)	42	133	3,4	150 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
F - G	440	305	4,0	400 x 200
G - H (FCU-17)	70	152	3,6	200 x 100
F' - G'	440	305	4,0	400 x 200
H - I	420	286	2,7	350 x 200
I - J (FCU-3)	70	152	3,6	200 x 100
H' - I'	420	286	2,7	350 x 200
J - K	270	266	2,4	300 x 200
K - L (FCU-4)	42	133	3,4	150 x 100
J' - K'	270	266	2,4	300 x 200
L - M	230	244	2,6	250 x 200
M - N (FCU-5)	42	133	3,4	150 x 100
L' - M'	230	244	2,6	250 x 200
N - O	210	219	2,4	200 x 200
O - P (FCU-6)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	210	219	2,4	200 x 200
P - Q	120	189	2,2	200 x 150
Q - R (FCU-7)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	120	189	2,2	200 x 150
R - S (FCU-8)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 4 Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 2) Lantai 16 s/d Lantai 20 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	24.700	1.405	8,0	1.950 x 850
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-9)	70	152	3,6	200 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
E - F	440	305	4,0	400 x 200
F - G (FCU-10)	42	133	3,4	150 x 100
G - H	440	305	4,0	400 x 200
H - I (FCU-11)	42	133	3,4	150 x 100
G' - H'	440	305	4,0	400 x 200
I - J	420	286	2,7	350 x 200
J - K (FCU-12)	70	152	3,6	200 x 100
I' - J'	420	286	2,7	350 x 200
K - L	270	266	2,4	300 x 200
L - M (FCU-13)	70	152	3,6	200 x 100
K' - L'	270	266	2,4	300 x 200
M - N (FCU-14)	70	152	3,6	200 x 100
N - O	230	244	2,6	250 x 200
O - P (FCU-15)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	230	244	2,6	250 x 200
P - Q	210	219	2,4	200 x 200
Q - R (FCU-16)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	210	219	2,4	200 x 200
R - S	120	189	2,2	200 x 150
S - T (FCU-18)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 5. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 1)
Lantai 11 s/d Lantai 15 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	17.200	1.253	6,8	1.700 x 800
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-1)	70	152	3,6	200 x 100
E - F (FCU-2)	42	133	3,4	150 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
F - G	440	305	4,0	400 x 200
G - H (FCU-17)	70	152	3,6	200 x 100
F' - G'	440	305	4,0	400 x 200
H - I	420	286	2,7	350 x 200
I - J (FCU-3)	70	152	3,6	200 x 100
H' - I'	420	286	2,7	350 x 200
J - K	270	266	2,4	300 x 200
K - L (FCU-4)	42	133	3,4	150 x 100
J' - K'	270	266	2,4	300 x 200
L - M	230	244	2,6	250 x 200
M - N (FCU-5)	42	133	3,4	150 x 100
L' - M'	230	244	2,6	250 x 200
N - O	210	219	2,4	200 x 200
O - P (FCU-6)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	210	219	2,4	200 x 200
P - Q	120	189	2,2	200 x 150
Q - R (FCU-7)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	120	189	2,2	200 x 150
R - S (FCU-8)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 6. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 2)
Lantai 11 s/d Lantai 15 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	17.200	1.253	6,8	1.700 x 800
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-9)	70	152	3,6	200 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
E - F	440	305	4,0	400 x 200
F - G (FCU-10)	42	133	3,4	150 x 100
G - H	440	305	4,0	400 x 200
H - I (FCU-11)	42	133	3,4	150 x 100
G' - H'	440	305	4,0	400 x 200
I - J	420	286	2,7	350 x 200
J - K (FCU-12)	70	152	3,6	200 x 100
I' - J'	420	286	2,7	350 x 200
K - L	270	266	2,4	300 x 200
L - M (FCU-13)	70	152	3,6	200 x 100
K' - L'	270	266	2,4	300 x 200
M - N (FCU-14)	70	152	3,6	200 x 100
N - O	230	244	2,6	250 x 200
O - P (FCU-15)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	230	244	2,6	250 x 200
P - Q	210	219	2,4	200 x 200
Q - R (FCU-16)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	210	219	2,4	200 x 200
R - S	120	189	2,2	200 x 150
S - T (FCU-18)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 7. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 1)
Lantai 6 s/d Lantai 10 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	12.400	1.100	7,2	1500 x 700
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-1)	70	152	3,6	200 x 100
E - F (FCU-2)	42	133	3,4	150 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
F - G	440	305	4,0	400 x 200
G - H (FCU-17)	70	152	3,6	200 x 100
F' - G'	440	305	4,0	400 x 200
H - I	420	286	2,7	350 x 200
I - J (FCU-3)	70	152	3,6	200 x 100
H' - I'	420	286	2,7	350 x 200
J - K	270	266	2,4	300 x 200
K - L (FCU-4)	42	133	3,4	150 x 100
J' - K'	270	266	2,4	300 x 200
L - M	230	244	2,6	250 x 200
M - N (FCU-5)	42	133	3,4	150 x 100
L' - M'	230	244	2,6	250 x 200
N - O	210	219	2,4	200 x 200
O - P (FCU-6)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	210	219	2,4	200 x 200
P - Q	120	189	2,2	200 x 150
Q - R (FCU-7)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	120	189	2,2	200 x 150
R - S (FCU-8)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 8. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 2)
Lantai 6 s/d Lantai 10 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	12.400	1.100	7,2	1500 x 700
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-9)	70	152	3,6	200 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
E - F	440	305	4,0	400 x 200
F - G (FCU-10)	42	133	3,4	150 x 100
G - H	440	305	4,0	400 x 200
H - I (FCU-11)	42	133	3,4	150 x 100
G' - H'	440	305	4,0	400 x 200
I - J	420	286	2,7	350 x 200
J - K (FCU-12)	70	152	3,6	200 x 100
I' - J'	420	286	2,7	350 x 200
K - L	270	266	2,4	300 x 200
L - M (FCU-13)	70	152	3,6	200 x 100
K' - L'	270	266	2,4	300 x 200
M - N (FCU-14)	70	152	3,6	200 x 100
N - O	230	244	2,6	250 x 200
O - P (FCU-15)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	230	244	2,6	250 x 200
P - Q	210	219	2,4	200 x 200
Q - R (FCU-16)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	210	219	2,4	200 x 200
R - S	120	189	2,2	200 x 150
S - T (FCU-18)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 9. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 1)
Lantai 1 s/d Lantai 5 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	3.420	686	7,2	950 x 400
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-1)	70	152	3,6	200 x 100
E - F (FCU-2)	42	133	3,4	150 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
F - G	440	305	4,0	400 x 200
G - H (FCU-17)	70	152	3,6	200 x 100
F' - G'	440	305	4,0	400 x 200
H - I	420	286	2,7	350 x 200
I - J (FCU-3)	70	152	3,6	200 x 100
H' - I'	420	286	2,7	350 x 200
J - K	270	266	2,4	300 x 200
K - L (FCU-4)	42	133	3,4	150 x 100
J' - K'	270	266	2,4	300 x 200
L - M	230	244	2,6	250 x 200
M - N (FCU-5)	42	133	3,4	150 x 100
L' - M'	230	244	2,6	250 x 200
N - O	210	219	2,4	200 x 200
O - P (FCU-6)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	210	219	2,4	200 x 200
P - Q	120	189	2,2	200 x 150
Q - R (FCU-7)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	120	189	2,2	200 x 150
R - S (FCU-8)	70	152	3,6	200 x 100

Tabel 10. Dimensi saluran udara Intake Fresh Air dari Mesin Supply Fan (Zone 2)
Lantai 1 s/d Lantai 5 (Tipikal Perlantai)

Duct Section (lantai)	Air Quantity (l/s)	Duct Diameter (mm)	Air Velocity (m/s)	Duct Size (mm)
A - B	3.420	686	7,2	950 x 400
B - C	1.000	429	6,4	650 x 250
C - D	480	337	4,6	500 x 200
D - E (FCU-9)	70	152	3,6	200 x 100
C' - D'	480	337	4,6	500 x 200
E - F	440	305	4,0	400 x 200
F - G (FCU-10)	42	133	3,4	150 x 100
G - H	440	305	4,0	400 x 200
H - I (FCU-11)	42	133	3,4	150 x 100
G' - H'	440	305	4,0	400 x 200
I - J	420	286	2,7	350 x 200
J - K (FCU-12)	70	152	3,6	200 x 100
I' - J'	420	286	2,7	350 x 200
K - L	270	266	2,4	300 x 200
L - M (FCU-13)	70	152	3,6	200 x 100
K' - L'	270	266	2,4	300 x 200
M - N (FCU-14)	70	152	3,6	200 x 100
N - O	230	244	2,6	250 x 200
O - P (FCU-15)	70	152	3,6	200 x 100
N' - O'	230	244	2,6	250 x 200
P - Q	210	219	2,4	200 x 200
Q - R (FCU-16)	70	152	3,6	200 x 100
P' - Q'	210	219	2,4	200 x 200
R - S	120	189	2,2	200 x 150
S - T (FCU-18)	70	152	3,6	200 x 100

4. Perencanaan Ukuran Pipa

a) Penentuan Jumlah Air Pendingin

$$Q1 = W1 / (Cp \cdot \gamma \cdot (t1 - t0)) \quad (\text{liter/jam})$$

Dimana :

Q1 = jumlah air yang disirkulasikan di evaporator mesin refrigerasi (liter/jam)

W1 = Jumlah kalor yang diserap di unit penyegar udara. = 3.898.711,43 kCal/jam

Cp = kalor spesifik air (1 kCal/kg°C)

γ = berat jenis air (kg/ltr)

t1-t0 (Δt) = beda suhu masuk dan keluar.

Biasanya didesign : 5 s/d 7 °C.

= dalam perencanaan untuk Δt diambil = 5°C.

$$Q1 = \frac{3.898.711,43 \text{ kCal/jam}}{(1 \text{ kCal/kg}^\circ\text{C} \times 1 \text{ kg/ltr} \times 5^\circ\text{C})}$$

$$Q1 = 779.742,28 \text{ liter/jam} \\ = 12.995,70 \text{ liter/menit} \\ = 216,595 \text{ liter/det}$$

b) Perencanaan Diameter Pipa

Pipa Utama

Luas pipa utama yang terbesar adalah :

$$Q = V \cdot A$$

Dimana :

Q = Total kapasitas air yang disirkulasikan (liter/jam)

A = Luas penampang pipa (m²)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

Luas penampang pipa air suplay (A)

$$= Q/V$$

$$\text{Jika } Q = 779.742,28 \text{ liter/jam} = 216.595 \text{ liter/det} = 0,216 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kecepatan aliran air direncanakan

$$V = 2 \text{ m/det}$$

Maka luas penampang pipa air suplay

$$(A) = (0,216 \text{ m}^3/\text{det}) / (2 \text{ m/det}) = 0,108 \text{ m}^2$$

Menentukan Diameter Pipa (d)

Luas penampang pipa (A) = 0,785 (d)²

Maka diameter pipa

$$(d) = \sqrt{A/0,785} = \sqrt{(0,108 \text{ m}^2)/0,785} \\ = 0,3709 \text{ m} = 370,91 \text{ mm}$$

Untuk ukuran pipa diameter 370,91 mm tidak ada dalam standar, maka direncanakan menggunakan pipa diameter 350 mm = 14 Inch sesuai tabel 7.5 (Wiranto Aris Munandar & Heizo Saito, 1980, Penyegaran Udara, halaman 212).

Pipa Cabang

Jumlah kalor yang diserap di unit penyegar udara = 3.898.711,43 kCal/jam, maka kebutuhan kapasitas kalor (Q2) per lantai :
= (3.898.711,43 kCal/jam)/(25 lantai)

$$= 159.588,45 \text{ kCal/jam}$$

Jumlah air yang dibutuhkan :

$$Q_2 = W_2 / (C_p \cdot \gamma \cdot (t_1 - t_0)) \quad (\text{liter/jam})$$

Dimana :

Q_2 = jumlah air yang disirkulasikan di evaporator mesin refrigerasi (liter/jam)

W_2 = Jumlah kalor yang diserap di unit penyejara udara.

$$= 59.588,45 \text{ kCal/jam} : 18 \text{ FCU}$$

$$= 8.866,03 \text{ kCal/jam/unit}$$

C_p = kalor spesifik air (1 kCal/kg°C)

γ = berat jenis air (kg/ltr)

$t_1 - t_0$ (Δt) = beda suhu masuk dan keluar.

Biasanya didesign : 5 s/d 7°C.

$$= \text{dalam perencanaan untuk } \Delta t \text{ diambil} \\ = 5^\circ\text{C.}$$

Jumlah air yang disirkulasikan per lantai :

$$Q_2 = \frac{(159.588,45 \text{ kCal/jam})}{(1 \text{ kCal/kg}^\circ\text{C} \times 1 \text{ kg/ltr} \times 5^\circ\text{C})}$$

$$Q_2 = 31.917,69 \text{ liter/jam} = 8.86 \text{ liter/det} \\ = 0,00886 \text{ m}^3/\text{det}$$

Maka luas penampang pipa utama yang terbesar pada 1 lantai adalah : $Q_2 = V \cdot A$

Dimana :

Q_2 = Total kapasitas air yang disirkulasikan tiap lantai (liter/jam)

A = Luas penampang pipa (m^2)

V = Kecepatan aliran air (m/det)

Luas penampang pipa air suplay (A) = Q_2 / V

$$\text{Jika } Q_2 = 31.917,69 \text{ liter/jam} \\ = 8.86 \text{ liter/det} = 0,00886 \text{ m}^3/\text{det}$$

Kecepatan aliran air direncanakan

$$V = 1,2 \text{ m/det}$$

Maka luas penampang pipa air suplay

$$(A) = (0,00886 \text{ m}^3/\text{det}) / (1,2 \text{ m/det}) \\ = 0,0073 \text{ m}^2$$

Menentukan Diameter Pipa (d)

$$\text{Luas penampang pipa } (A) = 0,785 (d)^2$$

Maka diameter pipa

$$(d) = \sqrt{A / 0,785} = \sqrt{(0,0073 \text{ m}^2) / 0,785} \\ = 0,0964 \text{ m} = 96,43 \text{ mm}$$

Untuk ukuran pipa diameter 96,43 mm tidak ada dalam standar, maka direncanakan menggunakan pipa diameter 100 mm = 4 Inch (sesuai tabel 7.5, buku Wiranto Aris Munandar & Heizo Saito, 1980, Penyegaran Udara, halaman 212).

c) Tinggi Angkat Pompa yang Diperlukan

Total tinggi angkat yang diperlukan :

$$H_t = (h_f + h_d) + h_m + h_s \quad (\text{m})$$

Dimana :

h_f = kerugian gesek dari pipa lurus

(mH₂O) = pipa vertikal

h_d = tahanan lokal dari sistem pipa

(mH₂O) = pipa horisontal

h_m = tahanan dari perlengkapan (mH₂O)

h_s = tinggi angkat static (mH₂O)

Tinggi Angkat Pompa untuk Air Dingin (Chilled Water Supply/Return)

Jadi ketinggian angkat pompa total adalah:

1) Kerugian tekanan pada tiap koil pendingin udara diperkirakan (lihat tabel 11)

$$(h_d + h_f) = 23,208 \text{ mH}_2\text{O} \times 2 = 46,416 \text{ mH}_2\text{O} \text{ (tabel 11)}$$

$$h_s = (6,4 + 12,6 + 100,8 + 4) = 123,8 \text{ mH}_2\text{O}$$

h_m = Peralatan x kerugian tekanan

2) Menurut tabel 7.4 (Buku Wiranto Arismunandar & Heizo Saito, 1980, Penyegaran Udara, halaman 208) jumlah kerugian tahanan gesek dari peralatan :

$$h_m \text{ FCU} = 425 \times 2,5 \text{ mmH}_2\text{O} \\ = 1.062,5 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$h_m \text{ katup otomatis} = 425 \times 3,5 \text{ mmH}_2\text{O} \\ = 1.487,5 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$h_m \text{ mesin refrigerasi} \\ = 1 \times 5 \text{ mmH}_2\text{O} = 5,0 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$H_m \text{ total} = 2.555,0 \text{ mmH}_2\text{O} \\ = 2,555 \text{ mH}_2\text{O}$$

Jadi Head total (H_t)

$$= (46,416 + 123,8 + 2,555) \text{ mH}_2\text{O} \\ = 172,77 \text{ mH}_2\text{O}$$

Jumlah pompa yang direncanakan ada 4 unit (3 unit jalan, 1 unit standby)

3) Kapasitas pompa yang digunakan untuk pompa air dingin (Chilled Water Pump Supply/Return) = 779.742,28 liter/jam = 13,32 m³/menit

4) Head pompa yang digunakan = 172,77 mH₂O

5) Efisiensi pompa = 0,8 – 0,9

6) Daya air pompa (P_w) = $\rho \times Q \times H$
Dimana :

P_w = daya air pompa (kgm/det)

ρ = berat jenis air = 1000 kg/m³

Q = kapasitas aliran = 13,32 m³/menit = 0,222 m³/det

H = head total pompa = 172,77 mH₂O

Jadi :

$$P_w = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,222 \text{ m}^3/\text{det} \times \\ 172,77 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$= 38.354,94 \text{ kgm/det}$$

7) Daya pompa (P_s) = P_w / η_p
direncanakan η_p = 80%

$$\begin{aligned}
 &\text{Daya pompa (Ps)} \\
 &= (38.354,94 \text{ kgm/det})/0,8 \\
 &= 47.943,675 \text{ kgm/det} \\
 &= (47.943,675 \text{ kgm/det}) \\
 &\quad (101,97 \text{ kgm/det}) \\
 &= 470,174 \text{ kW} = 638,823 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Tabel 11. Data untuk Sisyem Pipa Air Dingin (Chilled Water Supply/Return)

No	Sektor	Dia. Pipa (mm)	Kec. Aliran (m/s)	Pjg Pipa (m)	Jumlah Valve & Fitting
1	2	3	4	5	6
1	A - B	200	2	7,5	1 RD + 1 FJ + 1 STR, 1 BTV + 1 ELB
2	B - C	450	2	1,5	1 RD + 2 ELB
3	C - D	350	2	12,6	1 TEE
4	D - E	350	2	100,8	24 TEE
5	E - F	350	2	4,9	1 TEE
6	F - G	100	1,2	4	1 TEE + 2 ELB
7	F - G	80	1,2	7	1 TEE + 2 ELB
8	G - H	65	1,2	27,5	6 TEE
9	H - I	50	1,2	12,2	3 TEE
10	I - J	40	1,2	8,96	1 TEE
11	J - K	32	1,2	12,3	3 TEE
12	K - L	50	1,2	12,2	3 TEE
13	L - M	40	1,2	8,96	1 TEE
14	M - N	32	1,2	12,3	3 TEE
Pipa cabang ke koil					
15	N - O	25	1,2	5	2 FJ + 1 STR 2 GV + 1 BV

No	Sektor	Pjg Ekuivalen (m)	Pjg Total (m)	Faktor Gesekan (mH2O/m)	Kerugian Gesekan Total (mH2O)
1	2	7	8	9	10
1	A - B	70	78	0,017	1,318
2	B - C	60	62	0,010	0,615
3	C - D	20	33	0,010	0,326
4	D - E	480	581	0,010	5,808
5	E - F	20	25	0,010	0,249
6	F - G	10,5	14,5	0,025	0,362
7	F - G	10,5	17,5	0,030	0,525
8	G - H	21	48,5	0,032	1,552
9	H - I	10,5	22,7	0,034	0,772
10	I - J	3,5	12,46	0,036	0,449
11	J - K	10,5	22,8	0,038	0,866
12	K - L	10,5	22,7	0,034	0,772
13	L - M	3,5	12,46	0,036	0,449
14	M - N	10,5	22,8	0,038	0,866
Pipa cabang ke koil					
15	N - O	225	230	0,036	8,280

GRAND TOTAL (mH2O)	23,208
-----------------------	--------

Tinggi Angkat Pompa untuk Air Dingin (Chilled Water Supply/Return)

- 1) Kerugian tekanan pada tiap koil pendingin udara diperkirakan (lihat tabel 12)

$$(hd + hf) = 1,763 \text{ mH2O} \times 2 = 23,526 \text{ mH2O (tabel 12)}$$

$$hs = (6,4 + 12,6 + 100,8 + 4) = 123,8 \text{ mH2O}$$

$$hm = \text{Peralatan} \times \text{kerugian tekanan (lihat tabel 12)}$$

- 2) Menurut tabel 7.4 (Buku Wiranto Arismunandar & Heizo Saito, 1980, Penyegaran Udara, halaman 208) jumlah kerugian tahanan gesek dari peralatan :

$$hm \text{ Cooling Tower} = 1 \times 4 \text{ mmH2O} = 4 \text{ mmH2O}$$

$$hm \text{ Chiller} = 1 \times 7 \text{ mmH2O} = 7 \text{ mmH2O}$$

$$Hm \text{ total} = 11,0 \text{ mmH2O}$$

$$= 0,11 \text{ mH2O}$$

$$\text{Jadi Head total (Ht)}$$

$$= (23,526 + 123,8 + 0,11) \text{ mH2O}$$

$$= 147,337 \text{ mH2O}$$

- 3) Daya air pompa (Pw) = $\rho \times Q \times H$
Dimana :

$$Pw = \text{daya air pompa (kgm/det)}$$

$$\rho = \text{berat jenis air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = \text{kapasitas aliran} = 13,32 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,222 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H = \text{head total pompa}$$

$$= 147,337 \text{ mH2O}$$

$$\text{Jadi :}$$

$$Pw = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,222 \text{ m}^3/\text{det} \times$$

$$147,337 \text{ mH2O}$$

$$= 32.708,814 \text{ kgm/det}$$

- 4) Head pompa yang digunakan

$$= 147,337 \text{ mH2O}$$

- 5) Efisiensi pompa = 0,8 – 0,9

- 6) Daya pompa (Ps) = Pw/η_p

$$\text{direncanakan } \eta_p = 80\%$$

$$\text{Daya pompa (Ps)}$$

$$= (32.708,814 \text{ kgm/det})/0,8$$

$$= 40.886,017 \text{ kgm/det}$$

$$= 40.886,017 \text{ kgm/det}$$

$$(101,97 \text{ kgm/det})$$

$$= 400,961 \text{ kW} = 544,783 \text{ HP}$$

Tabel 12. Data untuk Sistem Pipa Air Dingin (Condensor Water Supply/Return)

No	Sektor	Dia. Pipa (mm)	Kec. Aliran (m/s)	Pjg Pipa (m)	Jumlah Valve & Fitting
1	2	3	4	5	6
Supply					
1	P-CT	200	2,4	7,5	1 CV 1 STR, 1 BTV + 1 ELB
2		450	2,4	118,3	6 RD + 8 ELB 6 TEE
3	Header	500	3	6	1 TEE
4	CT	200	2,4	18	6 BTV + 6 FJ + 6 SLV
Isap					
3	CH - P	350	1,7	5	1 TEE 1 GV + 1 FJ

No	Sektor	Pjg Ekuivalen (m)	Pjg Total (m)	Faktor Gesekan (mH ₂ O/m)	Kerugian Gesekan Total (mH ₂ O)
1	2	7	8	9	10
Supply					
1	P-CT	56	64	0,017	1,080
2		400	518	0,010	5,183
3	Header	20	26	0,010	0,260
4	CT	252	270	0,017	4,590
Isap					
3	CH - P	60	65	0,010	0,650
GRAND TOTAL (mH₂O)					11,763

KESIMPULAN

Dengan ketinggian gedung 115 meter dari permukaan laut, luas lantai (untuk 25 lantai) sebesar 39.800,25 m², suhu ruangan dipertahankan pada temperatur 23-25°C dan tingkat kelembaban (RH) 50-80%, maka dari hasil perhitungan perencanaan diperoleh: beban kalor total (Qt) sebesar 15.049.931,69 Btu/jam atau 1.254,16 TR; beban kalor per m² adalah sebesar 378,13 Btu/m² atau 0,031 TR/m² atau 108,934 Watt/m²; kebutuhan udara segar per m² adalah sebesar 1,57 CFM atau 0,74 l/s, dengan demikian dibutuhkan 1 (satu) mesin supply fan (SF) tipe Sentrifugal dengan kapasitas mesin SF sebesar 62.500 CFM atau 29.496,71 l/s; daya pompa air dingin (CHWP) sebesar 470,174 kW atau 638,823 HP, dimana dibutuhkan 4 (empat) unit pompa (3 unit jalan,

1 unit standby) dengan kapasitas pompa yang digunakan sebesar 779.742,28 liter/jam atau 13,32 m³/menit, dengan head total pompa (Ht) 172,77 mH₂O dan efisiensi pompa 0,8-0,9; daya pompa untuk pendingin kondensator (CWP) sebesar 400,961 kW atau 544,783 HP, dimana dibutuhkan 4 (empat) unit pompa (3 unit jalan, 1 unit standby) dengan head total pompa (Ht) 147,3377 mH₂O dan efisiensi pompa 0,8-0,9.

SARAN

Dari hasil perencanaan ini diharapkan memberikan penyegaran udara yang fungsinya tidak hanya untuk kenyamanan saja namun juga untuk menjaga kestabilan, temperatur, kelembaban, distribusi, kebersihan udara, kadar oksigen yang cukup untuk kondisi yang dikehendaki.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada : Prof. Dr. Ir. Martin Djamin, MSc selaku Rektor ITBU, Ir. Suwito, MM selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITBU, Ir. Srihanto, MT selaku ketua program studi Teknik Mesin ITBU, Ir. Ediwan, MSc selaku dosen pembimbing.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASHRAE. "Equipment Volume", *ASHRAE inc*, Atlanta (1961)
- [2] ASHRAE. "Handbook Fundamental", *ASHRAE Inc*, Atlanta (1985)
- [3] BALLANEY, P.I. "Refrigeration And Air Conditioning", *Khana Publisher*, New Delhi
- [4] Richard C Jordan Gailey B.P. "Refrigeration And Air Conditioning, *New Delhi prentice-hall of India* (1981)
- [5] Roy J Dossat. "Principles of Refrigeration, *Jhon Wiley & Sons, Inc.*, New York (1961)
- [6] Wiranto Aris Munandar dan Heizo Seito. "Buku Sistem Penyegaran Udara" 1980