

Analisa Efisiensi Penggunaan AC Split dan *Air Handling Unit* (AHU) dengan Perhitungan Beban Pendingin Metode CLTD pada Ruang Pengemasan Yoghurt Di PT. X

SUPRIYADI, SUSANTI ARIANTO, SENTOT NOVIANTO, LARASATI RP

ABSTRACT

Di industri pangan, teknologi pendingin digunakan untuk menciptakan produk yang aman dan berkualitas, terutama pada produk pangan yang mempunyai tingkat resiko tinggi. Selain untuk proses penyimpanan dan pembekuan makanan, pada industri pangan juga digunakan sistem pengkondisian udara yang digunakan untuk mendapatkan suhu dan kelembaban yang nyaman dan memenuhi standard kesehatan yang baik bagi pekerja. Salah satu pengaplikasian pengkondisian udara adalah pada industri pembuatan yoghurt yaitu pada ruang pengemasan yoghurt di PT. X yang berada di Lampung Tengah, provinsi Lampung yang saat ini menggunakan sistem AC Split yang akan dilakukan modifikasi menjadi ruang bersih (*cleanrooms*) dengan temperatur rancangan 20°C dan RH 50% kemudian akan dilakukan perbandingan efisiensi dengan sistem pendingin jenis *Air Handling Unit* (AHU). Daya input listrik yang terpasang saat ini adalah 40 PK. Dari hasil perhitungan, diperoleh beban pendingin sebesar 93.052,81 Watt. Untuk COP aktual didapat nilai 3,11 sedangkan COP pada AC split sesuai spesifikasi sebesar 3,23 dan COP pada sistem yang menggunakan AHU sebesar 3,19. Biaya operasional menggunakan AC Split adalah Rp. 327.533.138 per tahun, biaya operasional menggunakan AHU adalah Rp. 273.351.277 per tahun, diperoleh biaya penghematan sebesar Rp.54.181.860 per tahun.

Kata kunci: AC Split, *Air Handling Unit*, Ruang Bersih, Efisiensi

PENDAHULUAN

Teknologi pendingin berkembang sejalan dengan perkembangan zaman, terdapat dua bidang pendinginan yang saling terkait yaitu refrigerasi dan pengkondisian udara. Teknologi pendingin tersebut banyak digunakan di berbagai bidang, seperti bidang industri pangan, industri proses, industri percetakan, perkantoran, perumahan dan lainnya (ASHRAE, 2019)

Teknologi pendingin di industri pangan digunakan untuk menciptakan produk yang aman dan berkualitas, terutama pada produk pangan yang mempunyai tingkat resiko tinggi. Selain untuk proses penyimpanan dan pembekuan makanan, pada industri pangan juga digunakan sistem pengkondisian udara yang digunakan untuk mendapatkan suhu dan kelembaban yang nyaman dan memenuhi standard kesehatan yang baik bagi pekerja (ASHRAE, 2017)

Salah satu pengaplikasian pengkondisian udara adalah pada industri pembuatan yoghurt di PT. X yang berada di Lampung Tengah, provinsi Lampung. Dalam hal ini yang dibahas yaitu untuk ruang pengemasan yoghurt di PT tersebut. Ruang pengemasan yang sudah ada menggunakan sistem AC split. Salah satu kelemahan dari

sistem AC split itu adalah dalam penggunaannya memerlukan energi listrik yang cukup besar, apalagi digunakan dalam industri pangan yang cukup besar. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi pada sistem pengkondisi udara ruang bersih pada ruang pengemasan yoghurt menggunakan mesin pendingin udara jenis AHU.

Metode yang digunakan dalam menghitung beban pendingin pada ruang pengemasan ini adalah metode perbedaan temperatur beban pendingin atau *Cooling Load Temperature Different* (CLTD). Dari perhitungan yang dilakukan, diharapkan dapat ditemukan kapasitas yang dibutuhkan untuk memilih sistem pendingin yang baru dan ideal. Setelah menghitung beban pendingin, dilakukan proses seleksi unit mesin pendingin untuk kemudian dibandingkan dengan mesin pendingin yang sudah terpasang sebelumnya untuk mengetahui daya yang dibutuhkan sebagai referensi untuk menghitung biaya operasional dari penggunaan mesin sistem pendingin.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan metode penelitian meliputi pengumpulan data ruangan seperti fungsi ruangan, gambar ruangan dan letak geografis dari ruangan tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan beban pendingin yang terdiri dari perhitungan beban pendingin yang berasal dari luar ruangan (beban panas melalui dinding, atap, konduksi kaca, radiasi kaca, ventilasi dan infiltrasi) dan perhitungan beban pendingin dari dalam (beban panas melalui lantai, pekerja, lampu, mesin atau peralatan).

Setelah didapatkan hasil perhitungan, kemudian dilakukan analisis psikrometrik untuk mengetahui apakah kondisi perancangan sudah sesuai dengan kondisi aktual. Kemudian dilakukan pemilihan unit AHU serta saluran suplai dan *return*. Selanjutnya dilakukan perancangan penempatan mesin yang sudah dipilih. Kemudian dilakukan perhitungan COP, daya listrik dan biaya operasional untuk AC Split yang terpasang dan AHU yang dipilih untuk kemudian dibandingkan efisiensi dan biaya operasional yang dihasilkan oleh kedua unit tersebut. Setelah dilakukan perbandingan, dihasilkan rekomendasi unit mana yang paling efisien.

A. Kondisi Ruangan

Ruangan yang menjadi objek penelitian adalah ruang pengemasan yoghurt yang merupakan tahap akhir dari proses produksi dan merupakan *finish good* sistem *conveyor* ke ruang *chiller*.

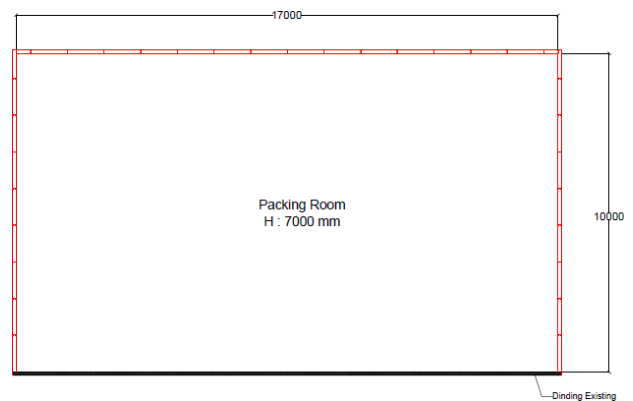
Kondisi perancangan ruangan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. Kondisi Ruangan

No	Uraian	Keterangan
1	Ukuran Ruangan	17 m x 10 m x 7 m
2	Lokasi	Lampung Tengah, Provinsi Lampung
3	Letak Geografis	6° 45' - 3° 45' LS dan 103° 48' - 105° 45' BT
4	Temperatur Rancangan	20 °C
5	RH Ruangan	50%
6	Temperatur Lingkungan	32°C
7	RH Lingkungan	80%

Penelitian dilakukan pada tanggal 19 September 2020 dan kondisi cuaca cerah. Temperatur terpanas di Lampung adalah pada bulan September yaitu 32° C atau 305,15 K dan temperatur terendah yaitu 22° C atau 295,15 K. Berdasarkan klasifikasi kelas kebersihan standar BPOM, kelas yang digunakan untuk ruang pengemasan yoghurt ini adalah kelas E yang memiliki temperatur antara 20-27° C dengan RH maksimal 70% dan ACH 5-20 kali/ jam. Oleh karena itu, pada ruang pengemasan ini digunakan sistem *cooling*. Sehingga didapat nilai temperatur dan RH rancangan untuk ruang pengemasan ini adalah 20°C, dengan nilai RH 50% dan temperatur produk sebelum dikemas yaitu 32°C.

Sistem sirkulasi yang digunakan adalah *mixing air*, ada udara balik/ *return* sebanyak 90% dan *fresh air* sebanyak 10% (Badan POM RI, 2018). Denah ruangan dapat dilihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Denah Ruang

B. Beban Pendinginan Ruangan

Beban pendinginan terdiri dari beban yang berasal dari luar ruangan dan beban yang berasal dari dalam ruangan. Beban pendinginan yang berasal dari luar terdiri dari beban panas dinding luar, atap, konduksi kaca dan radiasi kaca (ASHRAE, 2018)

Beban Panas Melalui Dinding

Koefisien perpindahan panas adalah kemampuan kalor menembus suatu benda. Semakin kecil nilai koefisien perpindahannya, maka kalor akan semakin mudah menembus dinding. Untuk mengetahui besarnya koefisien perpindahan panas, diperlukan perhitungan (ASHRAE, 2018) :

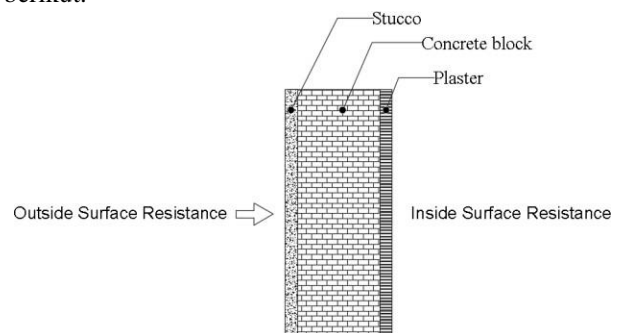
$$U = 1/R_{total} \quad (1)$$

Keterangan:

U : Koefisien perpindahan kalor, W/m².K

R : Resistansi termal, (m².K)/W

Koefisien perpindahan panas dinding didapatkan berdasarkan material yang digunakan (ASHRAE, 2018). Dinding luar disusun oleh beberapa struktur sebagai berikut.



Gambar 2. Struktur Dinding Luar

Jenis material dan koefisien perpindahan panas untuk dinding luar dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Jenis Material dan Koefisien Perpindahan Panas Dinding Luar

Description	Code	Thickness (meter)	Thermal Resistance (R) (m ² .K/W)
Outside Surface Resistance	A0	-	1,89
Stucco	A1	0,0254	1,18
L. W Concrete Block	C7	0,2032	11,47
Plaster	E1	0,01905	0,846
Inside Surface Resistance	E0	-	3,889
Total			19,277
U (W/m².K)			1,67

Setelah didapat nilai U, kemudian dilakukan perhitungan CLTD, nilai CLTD diperoleh dari buku ASHRAE cooling load and heating load calculation manual. Sedangkan CLTDcorr dinding luar bisa menggunakan persamaan (2) berikut. Nilai CLTD dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan nilai LM dapat dilihat pada Tabel 3.12 *Handbook Cooling and Heating Load Calculation Manual ASHRAE* (ASHRAE, 2018).

$$CLTDc = (CLTD + LM) \times K + (25,5 - Tr) + (To - 29,5) \quad (2)$$

Keterangan:

CLTD : Cooling Load Temperature Difference, °C

LM : Garis lintang terhadap bulan

K : Nilai koefisien untuk warna dinding

K : 1,0, untuk warna atap gelap atau terang di area industry

K : 0,83, untuk warna medium di area pemukiman (biru muda, hijau, dll)

K : 0,65, untuk warna terang di area pemukiman (krem)

Tr : Temperatur rancangan, °C

To : Temperatur udara luar, °C

Setelah mendapatkan nilai CLTDc, maka beban panas melalui dinding dapat dihitung menggunakan persamaan (3) berikut (ASHRAE, 2018).

$$Q = U \times A \times CLTDc \quad (3)$$

Keterangan:

Q : Beban kalor dinding, Watt

U : Koefisien perpindahan kalor dinding, W/m².K

A : Luas dinding yang terkena radiasi matahari, m²

CLTDc : Cooling Load Temperature Difference Corrected, °C

Beban Panas Melalui Atap

Perhitungan beban panas yang melalui atap dilakukan pada lantai yang paling atas, karena terkena sinarmatahari secara langsung. Nilai CLTDcorr atap dapat menggunakan persamaan berikut (ASHRAE, 2018).

$$CLTDc = (CLTD + LM) \times K + (25,5 - Tr) + (To - 29,5) \quad (4)$$

Keterangan:

CLTD : Cooling Load Temperature Difference, °C

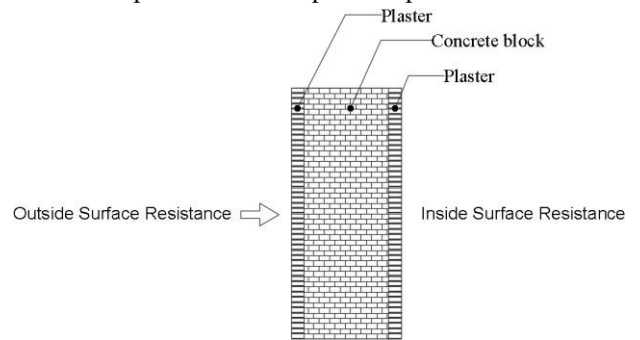
LM : Garis lintang terhadap bulan

K : Nilai koefisien untuk warna atap

Tr : Temperatur rancangan, °C

To : Temperatur udara luar, °C

Berikut merupakan struktur lapisan atap/



Gambar 3. Struktur Lapisan Atap

Jenis material dan koefisien perpindahan panas untuk atap dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Jenis Material dan Koefisien Perpindahan Panas untuk Atap

Description	Code	Thickness (meter)	Thermal Resistance (R) (m ² .K/W)
Outside Surface Resistance	A0	-	1,89
Plaster	E1	0,01905	0,846
Felt Membrane	E3	0,01905	1,618
L. W Concrete	C14	0,1016	18,908
Inside Surface Resistance	E0	-	3,889
Total			27,15
U (W/m².K)			1,186

Sehingga beban atap dapat dihitung dengan persamaan berikut (ASHRAE, 2018) :

$$Q = U \times A \times CLTDc \quad (5)$$

Keterangan:

Q : Beban kalor atap, Watt

CLTDc : Cooling Load Temperature Difference Corrected, °C

U : Koefisien perpindahan kalor dinding, W/m².K

A : Luas atap, m²

Beban Panas Melalui Kaca

Beban panas yang berasal dari konduksi kaca dihitung dengan menggunakan persamaan (6) dan nilai koefisien perpindahan panas dihitung menggunakan persamaan (1). Terdapat jendela sebanyak 3 buah berukuran 1,5x0,8 meter di dalam ruangan pengemasan yoghurt ini. Untuk menentukan nilai konduktifitas termal kaca yang dapat diperoleh dari tabel pada *Handbook Cooling and Heating Load Calculation Manual ASHRAE* yaitu kaca dengan tipe *single glass* didapat nilai U sebesar 1.04 Btu/hr.ft².F atau 5,905 W/m².K (ISO 14644-1, 2018).

$$Q = U \times A \times CLTDc \quad (6)$$

Keterangan :

Q : Beban kalor melalui kaca, Watt

U : Koefisien perpindahan kalor kaca, W/m².K

CLTDc : Cooling Load Temperature Difference Corrected, °C

A : Luas kaca, m²

Beban Panas Melalui Radiasi Kaca

Beban radiasi kaca diperoleh ketika kaca menggunakan kanopi maupun tidak menggunakan kanopi. Untuk mengetahui beban radiasi kaca, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7) berikut:

$$Q = A \times SC \times SHGF \times CLF \quad (7)$$

Keterangan :

- Q : Beban kalor melalui kaca, Watt
 A : Luas permukaan kaca yang terkena radiasi matahari, m²
 SC : Koefisien bayangan
 SHGF : Faktor panas matahari, W.m²
 CLF : Faktor beban pendingin untuk kaca

Beban Panas Melalui Lantai

Beban panas yang dihasilkan oleh dinding partisi didapatkan ketika bersebelahan dengan ruangan yang tidak dikondisikan, beban melalui dinding partisi dapat dihitung dengan rumus berikut (ASHRAE, 2018) :

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (8)$$

Keterangan :

- Q : Beban kalor melalui lantai, Watt
 U : Koefisien perpindahan kalor lantai, W/m².K
 ΔT : Perbedaan temperatur, °C
 A : Luas lantai, m²

Struktur material yang digunakan untuk konstruksi lantai dapat dilihat pada tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Jenis material dan koefisien perpindahan panas untuk lantai

Description	Code	Thickness (meter)	Thermal Resistance (R) (m ² .K/W)
Plaster	E1	0,01905	0,846
L. W Concrete Block	C7	0,2032	11,47
Plaster	E1	0,01905	0,846
Inside Surface Resistance	E0	-	3,889
Total			17,05
U (W/m².K)			1,89

Beban Kalor Ventilasi dan Infiltrasi

Beban panas karena ventilasi dihasilkan dari kebutuhan akan udara segar yang dibutuhkan dari penghuni, dimana beban udara yang berasal dari luar mempunyai nilai temperatur dari luar [5].

Sedangkan beban panas karena infiltrasi dihasilkan dari kebutuhan penggantian udara akibat kebocoran. Baik kebocoran udara dari dalam keluar atau kebocoran udara dari luar ke dalam ruangan, seperti udara yang masuk dan keluar melalui pintu. Untuk menghitung beban ventilasi dihitung beban sensibel dan laten sebagai berikut, dimana kebutuhan udara penghuni diambil berdasarkan Tabel 5.3 pada ASHRAE *Cooling and Heating Load Manual* (ASHRAE, 2018).

$$OASH = 1,23 \times \Delta T \times Q_{cfm} \quad (9)$$

$$OALH = 3.010 \times \Delta W \times Q_{cfm} \quad (10)$$

Keterangan :

- OASH : Beban kalor sensibel, Watt
 OALH : Beban kalor laten, Watt
 Q_{cfm} : Kebutuhan udara penghuni, l/s
 ΔT : Perbedaan temperatur udara ruangan dan temperatur udara luar, °C
 ΔW : Perbedaan rasio kelembapan udara ruangan dan udara luar, kg/kg

Beban Panas yang Dihasilkan Penghuni

Penghuni di dalam ruangan pengemasan yoghurt ini ada 6 orang operator. Beban penghuni mempunyai dua jenis beban yaitu, beban sensibel dan laten. Dimana beban sensibel berasal dari perbedaan temperatur dari anggota tubuh penghuni, sedangkan beban laten berasal dari keringat yang menguap dari anggota tubuh penghuni. Beban penghuni dapat ditentukan dengan persamaan (ASHRAE, 2018).

$$Q_s = q_s \times n \times CLF \quad (11)$$

$$Q_l = q_l \times n \quad (12)$$

Keterangan :

- Q_s : Beban kalor sensibel penghuni, Btu/hr
 Q_l : Beban kalor laten penghuni, Btu/hr
 n : Jumlah penghuni
 q_s : Kalor sensibel yang dihasilkan penghuni, Watt
 q_l : Kalor laten yang dihasilkan penghuni, Watt
 CLF : *Cooling load factor* untuk orang

Beban Kalor Melalui Lampu

Berdasarkan data yang diperoleh, di dalam ruangan tersebut ada 6 titik lampu yang terdiri dari 2 lampu pada setiap titik penempatan. Beban lampu yang dihasilkan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$Q = q_i \times f_s \times f_u \times CLF \quad (13)$$

Keterangan:

- Q : Beban pendinginan penerangan, Btu/hr
 Q_i : Jumlah daya lampu, Btu/hr
 f_u : Jumlah lampu per tempat penyimpanan lampu
 f_s : Faktor ballast per tempat penyimpanan lampu
 CLF : Faktor beban pendinginan untuk lampu

Beban Panas yang Dihasilkan Mesin dan Peralatan

Peralatan yang terdapat pada ruangan ini yaitu mesin pengemas sebanyak 6 set dengan kapasitas mesin masing-masing mesin adalah 9 kW. Beban peralatan dapat ditentukan dengan persamaan (14).

$$Q_s = C_s \times q_s \times CLF \quad (14)$$

$$Q_l = C_l \times q_l \quad (15)$$

Keterangan:

- C_s : Koefisien sensibel untuk peralatan
 C_l : Koefisien laten untuk peralatan

- Qs : Beban kalor sensibel peralatan, Watt
- Ql : Beban kalor laten peralatan, Watt
- CLF : Faktor beban sensibel, CLF=1 jika peralatan digunakan kurang dari 24 jam (ASHRAE, 2018)

Analisis Psikrometrik untuk Pengkondisian Udara

Psikrometrik adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat termodinamika dari udara basah. Pada kurva psikometrik dapat dianalisa semua jenis pemrosesan udara secara detail [(Alferio, 2020)]. Dalam kurva psikometrik terdapat istilah yang dipakai untuk menganalisa sebuah pemrosesan udara, parameter tersebut yaitu temperatur bola kering, temperatur titik embun, kelembaban relatif, RH, rasio kelembaban, entalpi spesifik, volume spesifik, faktor panas sensibel.

Untuk menghitung nilai RSHR dapat digunakan persamaan (16).

$$RSHR = RSH/RTH \tag{16}$$

- RSHF : rasio kalor sensibel ruangan
- RSH : beban kalor sensibel ruangan (Watt)
- RLH : beban kalor laten ruangan (Watt)
- RTH : beban total dari kalor sensibel dan laten (Watt)

Grafik psikrometrik membantu untuk mengetahui berapa temperatur suplai ruangan, sehingga dapat menentukan kapasitas koil pendingin dan debit udara suplai yang dibutuhkan. Debit udara suplai yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan (17).

$$Scfm = RSH/1,23 \times (T_R - T_{SA}) \tag{17}$$

dimana,

- scfm : debit udara suplai ke ruangan, l/s
- RSH : beban kalor sensibel ruangan, Watt
- T_R : temperatur ruangan, °C
- T_{SA} : temperatur udara suplai, °C

Untuk menentukan besar kapasitas pada koilpendingin, berdasarkan *Handbook Cooling and Heating Load Calculation Manual ASHRAE* kapasitas koil dapat dihitung dari penjumlahan total beban kalor ruangan dan beban kalor sensibel dan laten dari udara luar (Arismunandar, 2002). Beban kalor sensibel dan laten udara segar dari luar (fresh air) dapat dihitung menggunakan persamaan (18) dan (19).

$$OASH : 1,23 \times scfm_{OA} \times (T_{OA} - T_R) \tag{18}$$

$$OALH : 3.010 \times scfm_{OA} \times (W_{OA} - W_R) \tag{19}$$

dimana,

- OASH : Beban kalor udara luar, Watt
- OALH : beban kalor udara luar, Watt
- Scfm_{OA} : debit udara segar, l/s
- T_R : temperatur ruangan, °C
- T_{OA} : temperatur udara luar, °C
- W_R : rasio kelembapan, kg/kg
- W_{OA} : rasio kelembapan, kg/kg

Dari beban kalor udara maka dapat dihitung kapasitas koil pendingin yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan (20), (21) dan (22).

$$q_s = RSH + OALH \tag{20}$$

$$q_L = RLH + OALH \tag{21}$$

$$q_T = q_s + q_L \tag{22}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Beban Pendingin

Perhitungan dilakukan berdasarkan data dan persamaan (1) sampai (19) yang telah dipaparkan.

Tabel 4. Beban Panas Sensibel

No	Parameter	Persamaan	Q (Watt)
1	Beban Penghuni Laten		1.819,9
2	Beban Peralatan Laten		9.180
3	Beban Ventilasi Laten		3.636,13
4	Beban Infiltrasi		1.443,93

Tabel 5. Beban Panas Laten

Laten

Setelah dihitung beban panas sensibel dan beban panas laten. Maka didapatkan beban panas total yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Beban Panas Total

No	Parameter	Q (Watt)
1	Beban Panas Sensibel (RSH)	76.972,78
2	Beban Panas Laten (RLH)	16.080
4	Beban Panas Total (RTH)	93.052,81

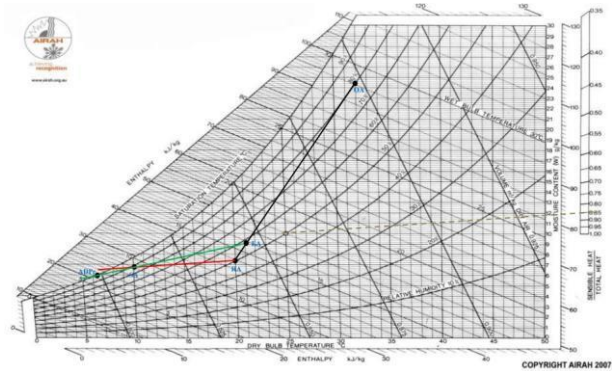
Analisis Psikrometrik

Analisis psikrometrik ini dilakukan untuk mengetahui proses termodinamika dari udara luar yang dikondisikan untuk disalurkan ke ruangan yang akan dikondisikan. Analisis psikrometrik juga dilakukan untuk mengetahui besarnya debit udara yang dibutuhkan oleh setiap ruangan, temperatur *Aparatus Dew Point Coil* (ADPC) dan besarnya beban total yang harus ditangani oleh koil pendingin (Priyambodo, 2007). Berikut tabel 7 yang merupakan data perhitungan untuk analisis psikrometrik.

Tabel 7. Data Perhitungan Analisis Psikrometrik

No	Parameter	Q (Watt)
1	RSHG	76.013,85
2	RLHG	12.443,90
3	RTHG	88.457,75
4	OASH	958,93
5	OALH	3.636,13
6	OATH	4.595,06
7	GSH	76.972,78
8	GLH	16.080,03
9	GTH	93.052,81
10	RSHF	0,85
11	GSHF	0,70

Dari data di atas kemudian dapat diplot ke dalam psikrometrik dengan menggunakan iterasi. Berikut adalah hasil plot pada psikrometrik yang ditunjukkan padagambar 4.



Gambar 4. Analisa Psikrometrik

Dari hasil plot pada psikrometrik di atas, didapatkan nilai hasil plot pada tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil Plot Psikrometrik

Tea	ADPC	Tsa	Tla
21.2°C	6.8°C	10.5°C	10.5°C

Setelah didapat nilai dari psikrometrik, kemudian dicek kembali menggunakan perhitungan rumus sebagai berikut [4]:

Debit udara suplai dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (17).

$$Scfm = 76.013,85 / 1,23 \times (20 \text{ }^\circ\text{C} - 10,5 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Scfm = 5.942,2 \text{ l/s}$$

Perhitungan Kapasitas Koil Pendingin

Menghitung besar beban udara dari luar (*outside air*) persamaan (18) dan (19) dengan debit udara dari luar sebesar 594 l/s. Kemudian untuk menghitung debit udara return dapat dihitung dengan debit udara suplai dikurangi dengan debit udara luar, sehingga didapatkan debit udara return sebesar 5.348 l/s.

Dari nilai debit dan temperatur, dapat kita periksa apakah iterasi yang diterapkan dapat diterima atau tidak dengan menggunakan persamaan berikut (ASHRAE, 2018).

Beban kalor laten dari lingkungan luar:

$$Tea = ((Voa \times Toa) + (Vra \times Tra)) / Vsa$$

$$Tea = ((594 \times 32) + (5.348 \times 22)) / (5942.2)$$

$$Tea = 21,2^\circ\text{C}$$

Nilai Tea hasil perhitungan mendekati Tea iterasi, dengan demikian hasil iterasi dapat diterima. Dari hasil plot dapat pula dihitung nilai *Bypass Factor* atau udara yang tidak mengenai koil dihitung dengan menggunakan persamaan (ASHRAE, 2018).

$$BF = (Tla - ADPC) / (Tea - ADPC)$$

$$BF = (10,5 - 8) / (21,2 - 8)$$

$$BF = 0,1$$

Dari hasil perhitungan, diketahui nilai *bypass factor* sangat kecil, sehingga udara yang bersentuhan dengan permukaan koil sangat besar.

Pemilihan Unit

Pada perancangan ruangan pengemasan yoghurt ini, dipilih sistem AHU sebagai pengganti AC split yang digunakan sebelumnya.

Pemilihan AHU

Besarnya kapasitas pada pemilihan AHU ditentukan oleh jumlah debit udara suplai yang nantinya akan didistribusikan ke ruangan.

Dari hasil perhitungan debit udara suplai didapat sebesar 5.942,2 lps setara dengan 21.391,92 m³/h. Unit yang akan digunakan yaitu 1 unit. Sedangkan untuk sistem pengkondisian udaranya membutuhkan kapasitas sebesar 93.052,81 Watt. Maka didapatkan spesifikasi unit sebagai berikut:

- Air Conditioner
 - Model : YORK YCAE100
 - Kapasitas : 99 kW
 - Power : 31 kW 380-415V/3~/50Hz
- AHU
 - Model : cfg 005a
 - Air flow : 22400 m³/h
 - Booster : Double skin booster fan housing 50 mm Type SC500F5-150-000, power 2 kW, speed 2135 rpm
 - Pre filter : Double skin filter housing 50 mm type G4 washable
 - Medium filter : Double skin filter housing 50 mm type F8
 - HEPA filter : Double skin filter housing 50 mm type H-13

Pemilihan Suplai Grille

Pemilihan suplai *Grille* dilakukan dengan cara menentukan jumlah titik yang akan dipasang untuk mendistribusikan udara suplai pada ruangan [9]. Pada ruang pengemasan yoghurt ini dirancang dengan memasang 10 titik *supply bar grille* yang akan dipasang di dua jalur, masing-masing jalur terdapat 5 titik. Sehingga masing-masing suplai mengeluarkan debit sebesar 653.65 lps. Dari katalog *supply bar grille* didapat sebagai berikut:
Size : 14" x 22"

Debit: 656 lps

Pemilihan Return Grille

Pemilihan *return grille* dengan cara menentukan titik *return grille* yang akan dipasang untuk mendistribusikan udara balik dari ruangan yang akan dikondisikan (McQuiston, 1994). Dirancang 8 titik *return grille*, sehingga debitnya adalah 668.5 lps. Sehingga didapat spesifikasi sebagai berikut:

Size : 16" x 26"

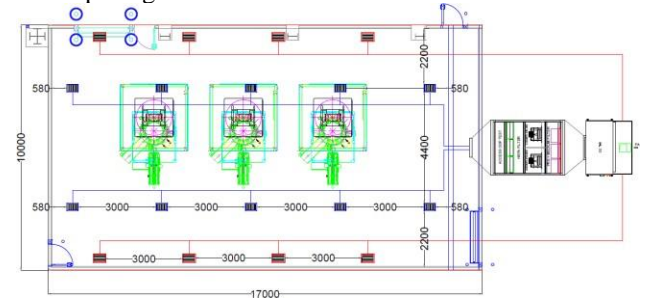
Debit: 670 lps

Pemilihan Air Damper

Untuk pemilihan *fresh air damper* maka debit fresh air dibagi dengan jumlah titik pemasangan damper yaitu 594 lps dibagi dengan 2 damper sehingga masing-masing damper mengeluarkan debit udara segar sebanyak 297 lps.

Penempatan Unit

Penempatan unit dilakukan berdasarkan tata letak ruangan seperti penempatan mesin, lampu dan peralatan lainnya, juga harus mementingkan aspek pendistribusian udara (Hundry, 2018). Oleh karena itu, penempatan suplai dan *return grille* ditempatkan berdasarkan luas ruangan dan jangkauan pendistribusian udara. Untuk AHU ditempatkan di luar ruangan yaitu di atap bangunan. Penempatan unit pada ruangan pengemasan yoghurt dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Penempatan Unit

Perhitungan COP

COP adalah pengukuran dari sejumlah panas yang diserap dibandingkan dengan jumlah energi listrik yang digunakan. Dari perhitungan beban pendingin di atas didapatkan beban pendingin total sebesar 93.052,81 Watt dan daya input yang terpasang pada ruang pengemasan yoghurt sebelumnya adalah 29.840 Watt. Sehingga COP dapat dihitung dengan rumus berikut [4]:

$$\text{COP aktual} = Q_i / W_{\text{net}}$$

$$\text{COP aktual} = 93.052,81 / 29.840$$

$$\text{COP aktual} = 3,11$$

Pada AC split 2 PK yang terdapat pada ruang pengemasan yoghurt memiliki kapasitas sebesar 18000 Btu/hr atau 5.292 watt dan daya yang dibutuhkan adalah 1640 Watt. Maka COP AC sesuai spesifikasi sebagai berikut [5]:

$$\text{COP AC Split} = 5.292 / 1.640$$

$$\text{COP AC Split} = 3,23$$

Kemudian dihitung juga nilai COP untuk AHU yang dipilih pada pemilihan unit, sehingga nilai COP untuk AHU sesuai spesifikasi adalah sebagai berikut:

$$\text{COP AHU} = 99.000 / 31.000$$

$$\text{COP AHU} = 3,19$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai COP aktual yaitu perbandingan antara beban yang harus ditangani oleh sistem pendingin dengan daya input yang terpasang pada ruangan sebesar 3,11 sedangkan COP pada AC split sesuai spesifikasi sebesar 3,23 dan COP pada sistem yang menggunakan AHU sebesar 3,19.

Perhitungan Daya Sistem Pendingin

Penggunaan listrik pada sistem pendingin akan berbeda setiap jamnya, dikarenakan apabila temperatur telah tercapai maka daya yang digunakan tidak akan 100% lagi dan beban setiap jam berbeda. Apabila menggunakan sistem AHU, maka daya yang digunakan pada mesin menyesuaikan beban setiap jam, sedangkan

untuk AC split akan bekerja 100% setiap jamnya. Berikut merupakan tabel 9 yaitu perbandingan pada saat menggunakan AHU dan AC split.

Tabel 9. Perbandingan Pemakaian Daya AHU dan AC Split

Pemakaian				
Daya		% Beban	Daya Unit	
Waktu	Jam		AHU	Split
00:00	1	80	21,59	26,24
01:00	1	79	21,21	26,24
02:00	1	77	20,84	26,24
03:00	1	76	20,52	26,24
04:00	1	75	20,26	26,24
05:00	1	74	20,03	26,24
06:00	1	74	19,89	26,24
07:00	1	74	19,87	26,24
08:00	1	75	20,11	26,24
09:00	1	76	20,53	26,24
10:00	1	78	21,01	26,24
11:00	1	80	21,55	26,24
12:00	1	82	22,00	26,24
13:00	1	83	22,43	26,24
17:00	1	100	26,95	26,24
15:00	1	86	23,07	26,24
16:00	1	87	23,36	26,24
17:00	1	88	23,76	26,24
18:00	1	88	23,76	26,24
19:00	1	88	23,74	26,24
20:00	1	87	23,51	26,24
21:00	1	85	23,01	26,24
22:00	1	84	22,51	26,24
23:00	1	78	21,11	26,24
Jumlah			525,58	629,76

Perhitungan Biaya Operasional Sistem Pendingin

Menghitung biaya operasional setiap unit ketika menggunakan AC Split maupun AHU perlu diketahui tarif dasar listrik, untuk industri menengah golongan tarif listrik R-2/TR dengan batas daya 3500 VA – 5500 VA, tarif dasar listrik (TDL) dari PLN tahun 2021 adalah Rp. 1444.7 kWh. Sehingga untuk biaya listrik setiap unit dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 10. Biaya Listrik Setiap Unit

Waktu	AHU	AC Split
1 Hari	Rp. 759.309	Rp. 909.814
1 Bulan	Rp. 22.779.273	Rp. 27.294.428
1 Tahun	Rp. 273.351.277	Rp. 327.533.138

Selisih (penghematan)	Rp. 54.181.860
------------------------------	----------------

Dari tabel 10 tersebut dapat dilihat bahwa apabila pada ruang pengemasan yoghurt menggunakan sistem AHU akan menghemat biaya cukup besar per tahunnya

dibandingkan dengan sistem menggunakan AC split. Penghematan yang terjadi hanya untuk konsumsi energi

listrik saja pada sistem pendingin bukan termasuk penghematan biaya seperti biaya pemasangan dan perawatan (Arismunandar, 2002).

Setelah dibandingkan untuk penggunaan AC Split dan AHU, apabila dilihat dari performansi atau COP, nilainya tidak terlalu jauh, untuk COP AHU sebesar 3,19 dan untuk AC Split sebesar 3,23, maka lebih baik performansi AC Split. Sedangkan apabila dilihat dari sisi konsumsi energi listrik, maka lebih hemat apabila sistem menggunakan AHU

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengolahan data yang dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Besarnya kapasitas beban pendingin pada ruangan pengemasan yoghurt adalah 93.052,81 Watt.
2. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai COP aktual yaitu perbandingan antara beban yang harus ditangani oleh sistem pendingin dengan daya input yang terpasang pada ruangan sebesar 3,11 sedangkan COP pada AC split sesuai spesifikasi sebesar 3,23 dan COP pada sistem yang menggunakan AHU sebesar 3,19.
3. Biaya operasional apabila sistem pendingin menggunakan sistem AHU, dapat menghemat biaya konsumsi listrik sebesar Rp. 54.181.860 per tahun dibandingkan dengan menggunakan AC split.
4. Dari hasil perbandingan dapat disimpulkan bahwa penggunaan AHU lebih efisien dibandingkan AC Split apabila dilihat dari daya konsumsi listrik dan apabila dilihat dari performansi, AC split lebih baik karena mempunyai COP yang lebih tinggi tetapi tidak terlalu jauh beda dengan AHU, oleh karena itu dapat disimpulkan jika AHU lebih efisien digunakan pada industri yang besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Bapak Dr. Supriyadi, M.Si. selaku dosen pembimbing dan kepada Jurusan Teknik Mesin, FTI Universitas Trisakti yang telah memberikan dukungan untuk hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE, HVAC Applications, Atlanta: ASHRAE Inc., 2019.
- ASHRAE, ASHRAE Design Guide for Cleanroom Fundamentals, Atlanta: ASHRAE Inc., 2017.
- ASHRAE, ASHRAE Handbook, Cooling Load and Heating Load Calculation Manual. Atlanta: ASHRAE Inc., 2018.

Badan POM RI. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 34 Tahun 2018.

Gavin Alferio dan Harjadi Gunawan. Perancangan dan Pembuatan Air Handling Unit. Jakarta: Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, 2020.

G. F. Hundry A.R. Trott, and T.C. Welch, "Refrigeration and Air Conditioning", Burlington: Butterworth-Heinemann, 2008.

"Spesifikasi AC SHARP 2 PK." Bhineka Mentari Dimensi, [Online]. Available: <https://www.bhinneka.com/sharp-ac-split-2-pk.html>.

Wiranto Arismunandar dan Heizo Saito, Penyebaran Udara, cetakan keenam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita (persero), 2002.

PENULIS :

Supriyadi
Program Studi Teknik Mesin Universitas Trisakti

Susanti Arianto
Program Studi Teknik Mesin Universitas Trisakti

Sentot Novianto
Program Studi Teknik Mesin Universitas Trisakti
sentot.novianto@trisakti.ac.id

Larasati RP
Program Studi Teknik Mesin Universitas Trisakti