



TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA



**Fathan Mubina Dewadi, Zain Lillahulhaq,
Irwanto, Tungga Bhimadi Karyasa,
Denni Kartika Sari**

ISBN 978-623-198-193-6



9 786231 981936

TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA

**Fathan Mubina Dewadi
Zain Lillahulhaq
Irwanto
Tungga Bhimadi Karyasa
Denni Kartika Sari**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA

Penulis :

Fathan Mubina Dewadi
Zain Lillahulhaq
Irwanto
Tungga Bhimadi Karya
Denni Kartika Sari

ISBN : 978-623-198-193-6

Editor : Ari Yanto. M.Pd.

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tangah
Padang Sumatera Barat

Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id

Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, April 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Teknik Pendingin Dan Tata Udara ini.

Buku Ini Membahas Ruang lingkup teknik pendingin dan pengkondisian, Gaya dan energi yang terkandung pada benda, Sistem pengkondisian udara, Komisioning dan pemeliharaan sistem pendingin udara, Psikometrik dan sifat-sifatnya.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, April 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 RUANG LINGKUP TEKNIK PENDINGIN	
DAN PENGKONDISIAN	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Jenis-jenis Pendingin.....	4
1.3 Soal dan Pembahasan Teknik Pendinginan	5
DAFTAR PUSTAKA.....	8
BAB 2 GAYA DAN ENERGI YANG TERKANDUNG	
PADA BENDA	11
2.1 Pendahuluan.....	11
2.2 Pengertian Gaya.....	11
2.3 Macam-macam Gaya.....	12
2.4 Hukum Newton.....	16
2.5 Pengertian Energi.....	17
2.6 Klasifikasi Energi.....	17
2.7 Hukum Thermodinamika	22
2.7.1 Sistem dan Lingkungan.....	22
2.7.2 Sistem terbuka dan tertutup.....	23
2.7.3 Sifat dan Hukum Energi.....	24
DAFTAR PUSTAKA.....	26
BAB 3 SISTEM PENGKONDISIAN UDARA.....	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Sistem Pengkondisian Udara	32
3.2.1 Jenis Kalor.....	33
3.2.2 Beban Kalor Ruangan	33
3.2.3 Radiasi Sinar Matahari	35
3.2.4 Aktivitas Manusia.....	35
3.3 Klasifikasi Sistem Pengkondisian Udara	37

3.3.1 AC Paket.....	37
3.3.2 AC Sentral.....	40
3.4 Penggolongan Sistem Pengkondisian Udara	42
3.4.1 Sistem Udara Penuh.....	42
3.4.2 Sistem Saluran Tunggal	43
3.4.3 Sistem Dua Saluran (Ganda).....	44
3.5 Refrigerant.....	46
3.6 Siklus Pendinginan.....	48
3.6.1 Sistem Pengkondisian Udara Langsung (<i>Direct Cooling</i>)	50
3.6.2 Sistem Pengkondisian Udara Tak Langsung (<i>Indirect Cooling</i>)	50
3.7 Jenis-Jenis Alat Pengkondisian Udara.....	50
3.7.1 AC Split	51
3.7.2 AC Cassette.....	52
3.7.3 AC Window	52
3.7.4 AC Standing.....	53
3.7.5 AC Split Duct.....	54
3.8 Kenyamanan Termal	55
3.9 Beban Pendinginan (Cooling Load)	57
3.10 Dasar-Dasar Psikometrik.....	58
3.11 Faktor Perhitungan Beban Pendingin	60
3.11.1 Faktor Aspek Fisik	61
3.11.2 Faktor Jenis Beban.....	62
3.11.3 Sumber Beban Pendingin	63
3.11.4 Aplikasi Sistem Pengkondisian Udara Pada Gedung	63
DAFTAR PUSTAKA.....	68
BAB 4 KOMISIONING DAN PEMELIHARAAN	
SISTEM PENGKONDISIAN UDARA	69
4.1 Pendahuluan.....	69
4.2 Komponen Sistem Pengkondisian Udara	74
4.3 Tahapan Komisioning.....	78

4.4 Regulasi Dasar Pelaksanaan Komisioning	80
4.5 Pemeriksaan Komponen Saat Komisioning	83
DAFTAR PUSTAKA.....	88
BAB 5 PSIKOMETRIK DAN SIFAT-SIFATNYA	89
5.1 Pendahuluan.....	89
5.2 udara kering dan uap air	89
5.3 Grafik psikometrik	90
DAFTAR PUSTAKA.....	100
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Skema Kerja AC.....	2
Gambar 1.2. Skema Kerja Kipas	3
Gambar 2.1. Klasifikasi Gaya	13
Gambar 2.2. Gaya aksi dan reaksi pada benda	16
Gambar 2.3. Klasifikasi Jenis energi.....	18
Gambar 2.4. Energi Reaksi fisi dan fusi pada atom (<i>nuclear fusion - Eschool, no date</i>)	20
Gambar 2.5. Energi dan usaha yang masuk keluar sistem	22
Gambar 2.7. Konversi energi listrik dan baterai.....	24
Gambar 3.1. Penyegar Udara Jenis Paket	38
Gambar 3.2. Penyegar Udara Jenis Jendela (Window) ...	39
Gambar 3.3. Penyegar Udara Jenis Terpisah (<i>Split</i>)	40
Gambar 3.4. Skema Sistem Penyegaran Udara Sentral ..	41
Gambar 3.5. Sistem Udara Penuh	42
Gambar 3.6. Unit volume Udara Variable	44
Gambar 3.7. Sistem Dua Saluran (ganda)	45
Gambar 3.8. AC <i>Split</i>	51
Gambar 3.9. AC <i>Cassette</i>	52
Gambar 3.10. AC Window.....	53
Gambar 3.11. AC <i>Standing</i>	54
Gambar 3.12. AC <i>Split Duct</i>	55
Gambar 4.1. Komponen Utama AC Split Rumahan.....	75
Gambar 4.2. Komponen AC Mobil.....	76
Gambar 4.3. Komponen AC Sentral.....	77
Gambar 5.1. Grafik psikometri.....	92
Gambar 5.2. Diagram Grafik Psikrometrik – Perubahan Kelembaban Relatif dengan Perubahan Suhu	93
Gambar 5.3. Rasio kelembaban.....	94
Gambar 5.4. Gambar grafik Psychrometrik – entalpi	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hukum Thermodinamika.....	25
Tabel 3.1. Jenis dan Penggunaan Refrigerant.....	47

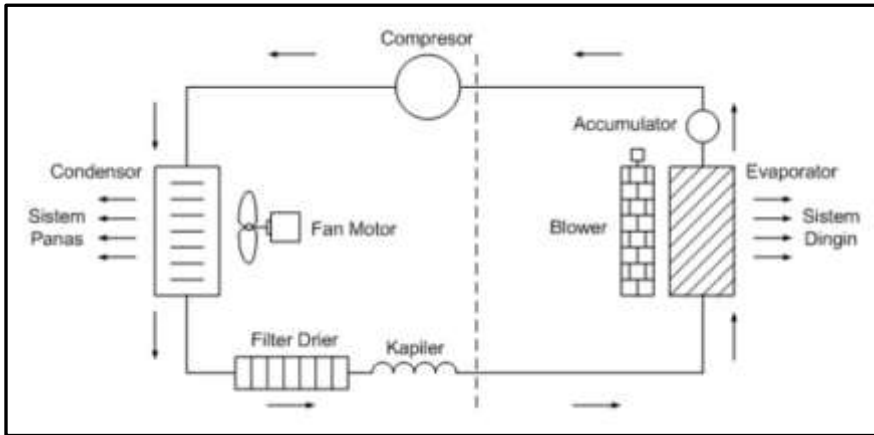
BAB 1

RUANG LINGKUP TEKNIK PENDINGIN DAN PENGKONDISIAN

Oleh Fathan Mubina Dewadi

1.1 Pendahuluan

Konsep pendingin sudah dikenal banyak orang terutama jika berada di area tropis. Area tropis memiliki suhu yang cukup panas sehingga pada ruangan tertentu butuh pendingin untuk menyejukkan ruangan. Udara disekitar memiliki suhu yang tinggi karena tekanan dan perbedaan jumlah partikel pada suatu titik atau tempat (Abbas, *et al.*, 2020). Dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari atau kebutuhan rumah tangga, alat pendingin yang secara umum digunakan terdapat dua jenis yaitu AC dan kipas. AC merupakan singkatan dari *Air Conditioner* yang berarti alat untuk mengkondisikan udara. Sedangkan kipas merupakan sebuah alat yang membelah lapisan udara sehingga terjadilah angin yang tercipta dari mekanisme pergerakan baling-baling kipas (Dewadi, *et al.*, 2021). berikut akan dijelaskan mengenai skema kerja AC pada gambar 1.1.

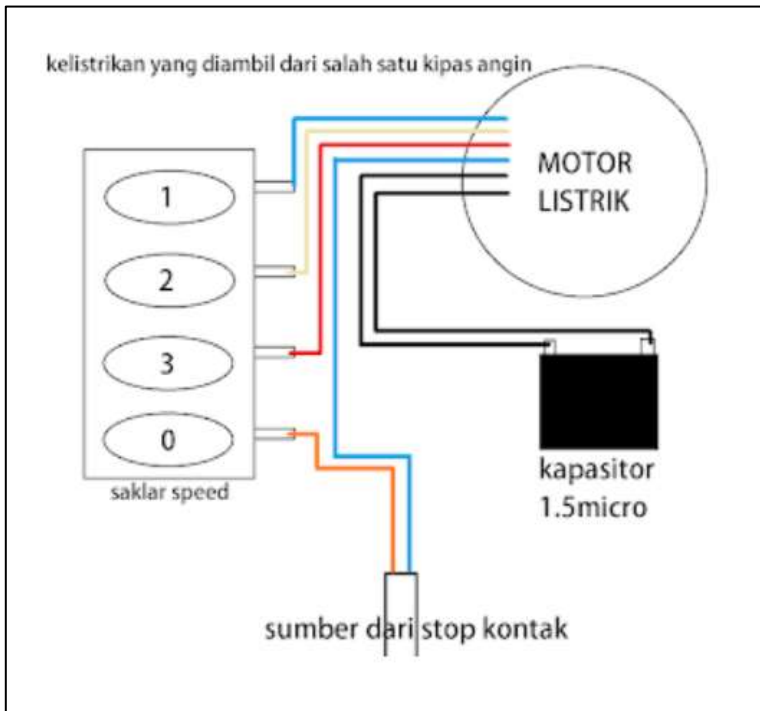


Gambar 1.1. Skema Kerja AC (IT Department, 2017)

Bentuk AC secara umum yang biasa kita kenal disebut juga dengan *evaporator*. Alasannya adalah *evaporator* sebagai komponen *output* atau buangan hasil pengolahan/pengkondisian udara. Komponen lainnya biasanya terletak di luar dinding bangunan (Dewadi, *et al.*, 2021). Beberapa komponen pada AC yaitu kompresor yang berfungsi mengubah fluida kerja menjadi gas dari gas bertekanan rendah ke gas yang bertekanan tinggi dimana nantinya gas bertekanan tinggi tersebut dialirkan menuju ke kondensor. Didalam kondensor gas yang tersimpan dalam tekanan tinggi lalu dialirkan menuju *orifice tube* dimana fungsi *orifice tube* adalah sebagai tempat penurunan cairan bertekanan tinggi menjadi tekanan rendah (Dimyati, *et al.*, 2021). Kondensor bukan tempat udara dingin melainkan sebaliknya, udara yang ditampung didalam kondensor cukup panas. Di dalam sistem AC terdapat katup ekspansi yang dimana katup ini berguna untuk mengatur cairan pendingin melalui katup orifice dan merubah wujud cair menjadi uap (Dewadi, *et al.*, 2019).

Selain AC, terdapat juga kipas yang cara kerjanya hampir sama dengan AC. Yang membedakan AC dengan kipas adalah komponen eksternal saja. Kipas hanya mengandalkan baling-baling

dengan motor penggerak tanpa komponen pendingin seperti cairan pendingin sedangkan pada AC lebih lengkap komponen yang tersedia (Dewadi, *et al.*, 2022). Berikut akan dijelaskan mengenai konsep skematik tentang kipas.



Gambar 1.2. Skema Kerja Kipas (Deva, 2022)

Berdasarkan skema kerja kipas yang dipaparkan pada gambar 1.2, kipas angin memiliki saklar on/off yang dimana "on" berfungsi untuk menghidupkan sedangkan "off" berfungsi untuk mematikan sistem rangkaian listrik. Kapasitor sebagai penyearah arus dengan motor listrik sebagai penggerak. Motor listrik bergerak dan diatur oleh kapasitor sebagai penyearah sesuai rangkaian pada potensiometer (saklar 1,2,3) (Dewadi, *et al.*, 2020).

Biasanya pada potensio akan berpengaruh putaran baling-baling kipas dimana nomor 1 untuk kecepatan pelan, nomor dua untuk kecepatan sedang dan nomor 3 untuk kecepatan tinggi. Pengaturan ini tergantung dari konsumen (Farahdiansari, *et al.*, 2021).

1.2 Jenis-jenis Pendingin

Pendingin memiliki beberapa jenis dan terdapat 3 jenis diantaranya yaitu sistem pendingin udara, sistem pendingin air dan sistem pendingin oli. Hal ini dibedakan berdasarkan media pendinginan. Sistem pendingin udara (alami) cenderung ada pada mesin sepeda motor era lama sekitar tahun 90an dimana saat itu belum tersedia pendingin air (Alfaris, *et al.*, 2022).

Sistem pendingin udara memiliki kelebihan diantaranya yaitu desain yang simpel sehingga tidak terlalu memakan ruang yang terlalu banyak. Lebih cepat dalam proses pendinginan dan tak membutuhkan perawatan yang eksklusif. Namun perlu diketahui bahwasanya dibalik kelebihan sistem pendinginan udara (alami) terdapat juga beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan yaitu proses pendinginan ditentukan seberapa besar laju kendaraan yang terjadi dan jika kendaraan diam, cenderung mesin mengalami *overheat* (Dewadi & Raja Ma'arof, 2022).

Selain dari pendingin tipe angin, terdapat juga jenis pendingin tipe air dimana air sebagai fluida utamanya. Zat cair ini bersifat seperti *coolant* dengan tambahan radiator yang berfungsi untuk melepas panas dari mesin sehingga meminimalisir terjadinya *overheat*. Radiator sebagai tempat penampung air pada mesin jenis pendingin air yang nanti akan diteruskan ke seluruh sistem (Dewadi, 2021).

Seperti yang telah dijelaskan mengenai sistem pendingin air, bahwasanya sistem pendingin air menggunakan fluida air sebagai pendingin dengan radiator sebagai tempat penampungan fluida pendingin. Dalam hal ini terdapat beberapa kelebihan dan

kekurangan sistem pendingin air pada mesin (Wibowo, et al., 2021). Kelebihan sistem pendingin air yaitu mampu mendinginkan mesin lebih cepat dari mesin pendingin angin. Dengan sirkulasi yang lebih merata, maka mesin yang cepat didinginkan akan meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar. Baik diam atau berjalannya kendaraan, sistem pendingin air tetap bersirkulasi. Oleh karena itu, kecepatan kendaraan tidak begitu pengaruh pada sistem pendingin air (Nanda, *et al.*, 2022).

Selain dari yang telah dijelaskan mengenai sistem pendingin air dari sisi kelebihan, terdapat pula kekurangan pada sistem pendingin air yaitu perlu dilakukan perawatan yang lebih preventif dan rumitnya instalasi dan konstruksi sistem pendingin ini. Maka dari itu sistem pendingin air cukup manja dalam implementasinya (Dewadi, 2022).

Sistem pendingin oli, merupakan sistem pendingin yang menggunakan oli sebagai media pendinginan dengan fluida cair khusus yaitu seperti minyak (viskositas yang lebih tinggi dari air). Namun sistem pendinginan oli terletak didalam mesin yang dimana secara konstruksi hampir sama dengan sistem pendingin air (Dewadi, 2022).

1.3 Soal dan Pembahasan Teknik Pendinginan

Terdapat sebuah tabung gas freon yang terbuat dari besi yang isinya terdapat gas freon dengan suhu 720°F dengan tekanan pada tabung tersebut adalah 150 Psi. Lalu tabung tersebut dipanaskan sehingga lama kelamaan temperatur tersebut menjadi 1000°F . Berdasarkan pada kondisi ini, tentukanlah tekanan gas saat ini (Vernando, 2021)?

Berdasarkan studi kasus yang telah dijelaskan, dalam hal ini perlu diketahui terlebih dahulu. Terpenting parameter apa saja yang telah diketahui yaitu T_1 , P_1 dan T_2 . T_1 merupakan temperatur awal tabung gas freon sebesar 720°F (Dewadi, 2022). P_1 merupakan tekanan awal tabung gas yaitu sebesar 150 Psi. T_2

merupakan temperatur saat gas freon tersebut dipanaskan yaitu 1000 °F. Yang harus dipahami adalah persamaan pada formula ini dengan rumus sebagai berikut (Dewadi, 2022).

$$P_1 \cdot T_1 = P_2 \cdot T_2$$

Sehingga yang perlu dibahas dalam persoalan ini adalah nilai P_2 , sebab nilai ini belum diketahui dari yang telah dipaparkan dalam studi kasus ini. Rumus untuk mencari nilai P_2 yaitu (Dewadi, 2022).

$$\begin{aligned} P_2 &= (P_1 \cdot T_1) / T_2 \\ &= (150.720) / 1000 \\ &= (150.720) / 1000 \\ &= 108000/1000 = 108 \text{ Psi} \end{aligned}$$

Studi kasus lainnya terkait teknik pendingin yaitu tentang mesin carnot yang bekerja pada suhu sebesar 650 K dengan efisiensi mesin sebesar 45%. Agar lebih efisien berarti nilai efisiensi harus ditingkatkan hingga menjadi 80%. Dengan adanya parameter ini, maka suhu pada reservoir harus dinaikkan menjadi berapa Kelvin (Kusmana, 2020)?

Dalam menyelesaikan studi kasus ini, yang perlu diperhatikan adalah indikasi yang telah diketahui dan indikasi yang ditanyakan. Yang diketahui pada kasus ini adalah suhu keadaan awal yaitu 650 K dengan nilai efisiensi (η) sebesar 45%. Nilai suhu akhir dalam keadaan awal perlu dicari sehingga akan dipaparkan sesuai rumus berikut (Wibowo & Dewadi, 2022).

$$\begin{aligned} \eta &= (1 - T_2 / T_1) \times 100\% \\ 45\% &= (1 - T_2 / 650) \times 100\% \\ 0,45 - 1 &= - T_2 / 650 \\ T_2 &= 357,5 \text{ K} \end{aligned}$$

Untuk nilai keadaan awal, suhu akhir didapat sebesar 357,5 K, namun perlu diketahui suhu awal di keadaan akhir dimana yang ditanyakan adalah nilai T_1' . Nilai efisiensi (η') sebesar 80%. Nilai T_2' mengindikasikan suhu akhir keadaan awal yang telah dihitung sebesar 357,5 K. Berikut akan dijabarkan mengenai perhitungan suhu awal dalam keadaan akhir pada persamaan berikut (Dewadi, et al., 2021).

$$\begin{aligned}\eta' &= (1 - T_2' / T_1') \times 100\% \\ 80\% &= (1 - 357,5 / T_1') \times 100\% \\ 0,8 - 1 &= - 357,5 / T_1' \times 100\% \\ -0,2 &= - 357,5 / T_1' \\ T_1' &= 1.787,5 \text{ K}\end{aligned}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A. et al., 2020. *Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques*. Medan, IOP Publishing, pp. 1-7.
- Alfaris, L. et al., 2022. *Matriks dan Ruang Vektor*. 1st ed. Batam: Penerbit Cendikia Mulia Mandiri.
- Deva, 2022. *whereaglesfly*. [Online] Available at: <https://whereaglesfly.com/diagram-kipas-angin/> [Accessed 30 November 2022].
- Dewadi, F. M., 2021. Analisis Efektivitas Liquid Section Heat Exchanger dengan Tube In Tube Heat Exchanger dari Sisi Aplikatif. *JTMMX*, II(1), pp. 28-36.
- Dewadi, F. M., 2022. Kalor Usaha dan Hukum Pertama Termodinamika. In: R. Pido, ed. *Termodinamika*. Bandung: Indie Press, pp. 11-20.
- Dewadi, F. M., 2022. Penyakit Akibat Kerja. In: Agustiawan, ed. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Bandung: Media Sains Indonesia, pp. 211-220.
- Dewadi, F. M., 2022. Perpindahan Panas. In: R. Pido, ed. *Klasifikasi Perpindahan Panas*. Bandung: Indie Press, pp. 1-8.
- Dewadi, F. M., 2022. Sistem Manajemen K3 dalam Meminimalisir Kecelakaan di Dunia Industri pada Era 5.0. In: R. H. Della, ed. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Society 5.0*. Purbalingga: Eureka Media Aksara, pp. 68-91.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D. & Maulana, E., 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *Journal Online Jaringan Pengajian Seni Bina (JOJAPS)*, pp. 129-138.
- Dewadi, F. M., Jati, R. R. & Sofiyanti, B., 2022. Pengenalan Material Yang Digunakan Dalam Proses Pengelasan Berdasarkan Spesifikasi Material. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, pp. 300-305.

- Dewadi, F. M. & Raja Ma'arof, R. A., 2022. The selection of Sufficiently Efficient ISO LNG Tanks for Applications in Industrial Estates based on Edward Lisowski and Wojciech Czyzycki. *Journal of Mechanical Engineering, Science and Innovation*, II(1), pp. 16-27.
- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M. & Rahdiana, N., 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), pp. 1-5.
- IT Department, 2017. *Cara kerja AC dan Bagian-Bagiannya*. [Online]
Available at: <https://klinikac.com/cara-kerja-ac-dab-bagian-bagiannya/>
- k. et al., 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding pada Proses Tailor welded blankss Menggunakan Mill-steel Beda Ketebalan. *BorobudurEngineering Research (BENR)*, pp. 96-107.
- K. et al., 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, pp. 96-103.
- Kusmana, D. R., 2020. *youtube*. [Online]
Available at: <https://www.youtube.com/@fisika5derusty436>
[Accessed 30 November 2022].
- M., Dewadi, F. . M., A. & Sigalingging, W. S., 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, pp. 101-118.
- M., Dewadi, F. M. & S., 2020. *Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar*. Malang, Universitas Widyagama Malang.

- Nanda, R. A. et al., 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler Berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), pp. 43-55.
- S. et al., 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), pp. 19-27.
- Vernando, W. H., 2021. *Youtube*. [Online] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=QP01qaDMWXE> [Accessed 30 November 2022].
- Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO : Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), pp. 60-65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M. & Afgani, A. A., 2021. Implementasi Material Titanium pada Sepeda Listrik sebagai Rangka yang Efisien. *JTMMX*, II(1), pp. 13-18.

BAB 2

GAYA DAN ENERGI YANG TERKANDUNG PADA BENDA

Oleh Zain Lillahulhaq

2.1 Pendahuluan

Gaya dan Energi merupakan suatu istilah yang sering disebut dalam pembelajaran berbasis Fisika dan Teknik. Gaya dan Energi merupakan besaran turunan yang diperoleh dari proses pengoperasian besaran lain. Keduanya merupakan suatu besaran vektor yang memiliki nilai dengan satuan tertentu dan dipengaruhi oleh arah (Utomo, 2016). Materi ini akan membahas tentang :

1. Pengertian Gaya
2. Macam-macam Gaya
3. Hukum Newton
4. Pengertian Energi
5. Klasifikasi Energi
6. Hukum Termodinamika yang berkaitan dengan energi

Pemahaman tentang gaya dan energi yang terjadi pada benda sangat penting untuk mengetahui daya dan efisiensi dalam suatu siklus pembangkit daya, pendingin maupun mesin konversi energi.

2.2 Pengertian Gaya

Secara sederhana gaya diartikan sebagai tarikan atau dorongan. Gaya merupakan suatu besaran vektor yang mempengaruhi perubahan kondisi benda untuk bergerak maupun diam. Secara sederhana gaya diartikan sebagai tarikan atau

dorongan pada sebuah benda untuk berpindah dari satu titik ke titik lainnya. Gaya merupakan besaran turunan dari massa (kg) dan percepatan (m/s^2) benda dengan satuan Newton (N).

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

Dimana F : Gaya (Newton atau kgm/s^2)
 m: massa (kg)
 a : percepatan (m/s^2)

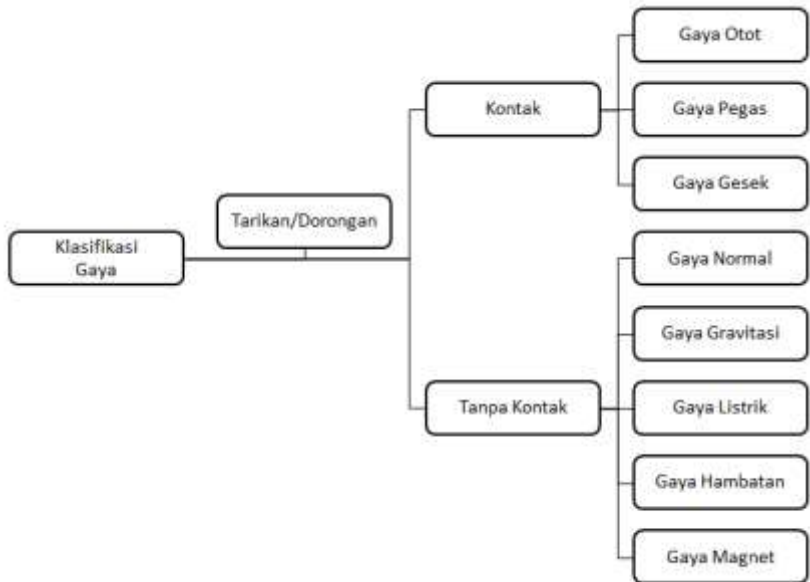
Gaya dapat berupa sentuhan pada benda ataupun tanpa sentuhan(Ardiyati, 2020). Gaya memiliki sifat :

1. Gaya dapat mengubah bentuk benda akibat adanya tekanan ataupun tarikan pada permukaan benda. Misalnya saat mobil menabrak pembatas jalan makan bagian depan mobil akan ringsek.
2. Gaya dapat mengubah arah benda saat terjadi momentum maupun gesekan pada benda. Misalnya saat bola *base ball* di pukul, maka akan terjadi perubahan arah benda.

2.3 Macam-macam Gaya

Gaya diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan dengan sumber yang menyebabkan terjadinya perubahan dan objek yang berubah. Misalnya Gaya pegas merupakan gaya tekan atau tarikan pada pegas dan dapat mengubah ukurannya. Gaya Gravitasi merupakan gaya tarikan ke pusat bumi yang dialami oleh benda.

Gaya sentuhan (dengan kontak) melibatkan sentuhan dua permukaan benda. Contoh gaya berupa sentuhan adalah gaya dorong, gaya tarik, dan gaya gesek. Gaya tanpa sentuhan terjadi akibat pengaruh medan yang ada disekitar benda. Gaya tanpa sentuhan terjadi saat benda dipengaruhi gaya gravitasi, gaya listrik maupun gaya magnet. Macam-macam gaya digambarkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Klasifikasi Gaya

Berikut merupakan definisi dari macam-macam gaya :

- Gaya otot merupakan Gaya tarikan atau dorongan yang disebabkan oleh pergerakan otot makhluk hidup (Mansyur, 2020).
- Gaya pegas merupakan gaya merenggang maupun pemampatan yang disebabkan karena tarikan atau tekanan di ujung pegas. Gaya pegas dipengaruhi oleh tetapan pegas (k) dan panjang regangan (x) yang dihasilkan oleh pegas.

$$F = -k \cdot x \quad (2)$$

Dimana F : Gaya (Newton atau kgm/s^2)

k : konstanta pegas (N/m)

x : panjang regangan pegas (m)

- Gaya gesek (friction) merupakan gaya yang terjadi akibat dua permukaan yang saling bersentuhan. Gaya gesek (f) memiliki arah yang berlawanan dengan arah gerakan

benda. Gaya gesek menyebabkan terjadinya perlambatan pada gerakan benda. Besar gaya gesek di pengaruhi oleh kekasaran permukaan (μ) dan gaya normal pada benda.

$$f = \mu \cdot N \quad (3)$$

Dimana f : Gaya Gesek (Newton atau kgm/s^2)

μ : koefisien gesek (N/m)

N : gaya normal (Newton)

- Gaya Normal merupakan gaya yang terjadi akibat suatu benda bersentuhan dengan permukaan. Gaya Normal (N) merupakan reaksi dari gaya gravitasi. Gaya gravitasi memiliki arah ke pusat bumi, sedangkan gaya normal memiliki arah berlawanan dengan gaya berat.

$$N = -m \cdot g \quad (4)$$

Dimana N : gaya normal (Newton)

m : massa (kg)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

- Gaya Gravitasi merupakan gaya tarik menuju pusat bumi. Gaya gravitasi (F_G) merupakan gaya yang terjadi diantara planet-planet dan objek antariksa untuk bertahan dalam orbitnya. Gaya gravitasi sering disalah artikan sebagai gaya berat. Pada dasarnya, Gaya berat merupakan besarnya tarikan bumi pada massa benda yang ada dipermukaannya. Gaya gravitasi dapat dihitung dengan persamaan (4). Sedangkan Gaya berat (W) dapat dihitung pada persamaam 5.

$$F_G = \frac{G \times m_1 \times m_2}{r^2} \quad (5)$$

$$w = m \cdot g \quad (6)$$

Dimana F_G : Gaya gravitasi (Newton)

G : konstanta gravitasi (Nm^2/kg^2)

m : massa benda 1 dan 2 (kg)

r : jarak antara benda (m)

w : Gaya berat (Newton)

- Gaya listrik merupakan gaya akibat tarik menarik muatan dengan yang menyebabkan perpindahan arus yang lemah (sementara).

$$F = \frac{k \times q_1 \times q_2}{r^2} \quad (7)$$

Dimana F : Gaya coulomb (Newton)
 k : koefisien muatan (Nm^2/C^2)
 q : muatan listrik 1 dan 2 (C)
 r : jarak muatan (m)

- Gaya hambatan udara gaya hambat merupakan gaya perlambatan yang dialami benda yang melintas melalui fluida (air/udara). Perlambatan laju benda terjadi akibat gesekan permukaan benda dengan partikel. Hambatan adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida (cairan atau gas).

$$F = -\frac{1}{2} \rho v^2 A C_d \quad (8)$$

Dimana F : Gaya drag/hambat (Newton)
 ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)
 A : Luas penampang permukaan (m^2)
 V : kecepatan (m/s)
 C_D : koefisien drag fluida

- Gaya magnet merupakan gaya tarikan yang terjadi pada benda yang ada di dalam medan magnet.

$$F = qvB \sin \theta \quad (9)$$

Dimana F : Gaya magnet/Lorentz (Newton)
 q : muatan (C)
 v : kecepatan (m/s)
 B : kuat medan magnet (tesla)
 θ : sudut

2.4 Hukum Newton

Hukum newton merupakan hukum yang membahas mengenai gaya yang terjadi pada sebuah benda. Hukum newton terdiri dari 3 bagian yaitu :

1. Hukum Newton I

Benda yang diam akan tetap diam dan benda yang bergerak akan tetap bergerak selama tidak ada gaya eksternal yang bekerja dari luar. Dengan kata lain sebuah benda akan mempertahankan kondisinya saat tidak ada gaya (F) yang mempengaruhi.

$$\sum F = 0 \quad (10)$$

2. Hukum Newton II

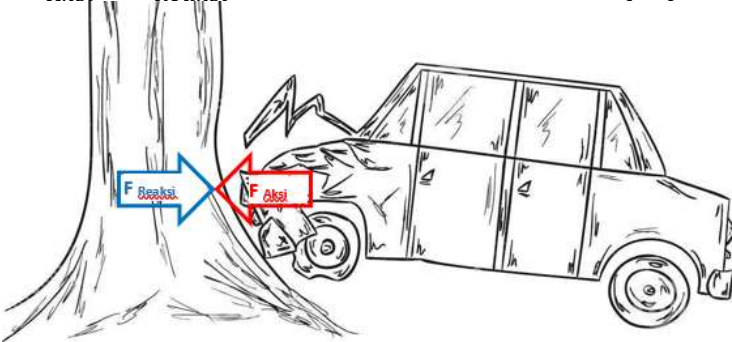
Perubahan Gerakan pada benda berbading lurus dengan gaya yang bekerja pada massa (m) benda tersebut. Selain benda akan bergerak serah dengan garis normal dan titik singgung benda dengan percepatan tertentu (a).

$$\sum \bar{F} = \bar{m} \cdot \bar{a} \quad (11)$$

3. Hukum Newton III

Suatu benda akan menghasilkan reaksi yang besarnya sama gaya (aksi) yang bekerja padanya dengan arah berlawanan.

$$\sum F_{Aksi} = F_{Reaksi} \quad (12)$$



Gambar 2.2. Gaya aksi dan reaksi pada benda

2.5 Pengertian Energi

Manusia memerlukan berbagai peralatan untuk mempermudah aktivitas sehari-hari. Di zaman yang semakin modern ini manusia memerlukan suatu mesin untuk melakukan berbagai kegiatan dengan lebih cepat dan menghemat waktu. Mesin membutuhkan energi untuk melakukan suatu kerja atau produksi. Untuk mendapatkan energi yang diperlukan, mesin mengkonversikan suatu energi kedalam bentuk energi lain.

Energi merupakan komponen yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Dalam lingkup terkecil, sel dalam tubuh manusia memerlukan energi untuk berfungsi secara optimal. Sebagai contoh, jantung memerlukan energi untuk terus berdetak. Dalam lingkup yang lebih besar manusia menggunakan energi untuk melakukan kegiatan sehari-hari seperti transportasi maupun bekerja. Energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan sebuah kerja. Energi (E) merupakan besaran vektor dengan satuan Joule. Besarnya energi yang digunakan untuk melakukan suatu kerja disebut dengan usaha Usaha (W) memiliki satuan joule dan dapat dihitung Gaya (F) yang dikeluarkan pada jarak (s) tertentu.

$$W = F \cdot s \quad (13)$$

2.6 Klasifikasi Energi

Berdasarkan sumbernya energi diklasifikasikan sebagai :

- Non-Renewable : energi fosil yang bersumber dari alam dan tidak dapat diperbarui. Contoh Non-Renewable energy adalah minyak bumi, batu bara dan gas alam
- Renewable energy : energi terbarukan yang berasal dari alam dan ketersediaanya melimpah. Contoh Renewable energy bersumber dari air, angin, ombak (tidal), geothermal, dan biomassa.

Saat akan menghitung energi dalam suatu benda, kita perlu mendefinisikan jenis energi yang dimiliki benda tersebut untuk memilih persamaan matematika yang tepat. Klasifikasi energi berdasarkan jenisnya adalah sebagai berikut :

1. **Energi mekanik** : potensi energi yang terkandung dalam suatu benda saat benda berada pada ketinggian tertentu atau bergerak pada kecepatan tertentu. Energi mekanik terdiri energi potesial (Joule) dan kinentik (Joule). Perhitungan energi mekanik (Joule) ditunjukan pada persamaan berikut

$$Energi_{mekanik} = Energi_{potesial} + Energi_{kinentik} \quad (14)$$

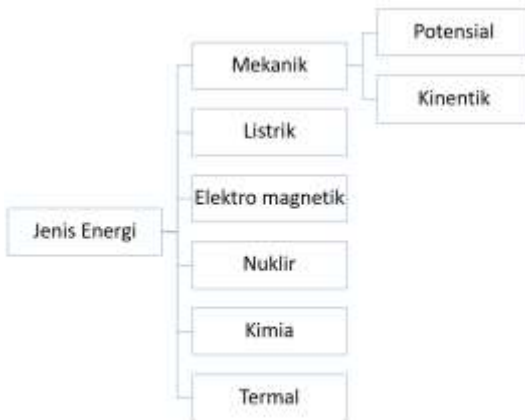
$$Energi_{mekanik} = mgh + \frac{1}{2}mv^2 \quad (15)$$

Dimana m : massa (m)

g : percepatan gravitas (m/s^2)

h : ketinggian (m)

v : kecepatan (m/s)



Gambar 2.3. Klasifikasi Jenis energi

2. **Energi listrik** : dihasilkan oleh perpindahan elektron yang menyebabkan munculnya arus listrik. Elektron yang mengalir disepanjang kabel disebut dengan arus listrik.

Beda potensial merupakan perbedaan jumlah elektron yang berada di dua titik. Secara harfiah Listrik diklasifikasikan menjadi listrik statis dan dinamis. Listrik statis merupakan perpindahan muatan antar atom dari muatan dengan elektron tinggi ke rendah. Pada listrik statis pemisahan elektron terjadi sesaat. Listrik statis tidak menghasilkan arus listrik. Sedangkan listrik dinamis merupakan perpindahan elektron secara kontinu akibat perbedaan tegangan dan menimbulkan arus listrik. Persamaan yang digunakan untuk mencari besar energi listrik adalah sebagai berikut :

$$Energi_{potensial\ statis} = \frac{kq_1q_2}{r} \quad (16)$$

$$Energi_{listrik\ dinamis} = VIt \quad (17)$$

Dimana

k : koefisien muatan (Nm^2/c^2)

q : muatan listrik 1 dan 2 (c)

r : jarak muatan (m)

V : Beda potensial (volt)

I : arus (ampere)

t : waktu (s)

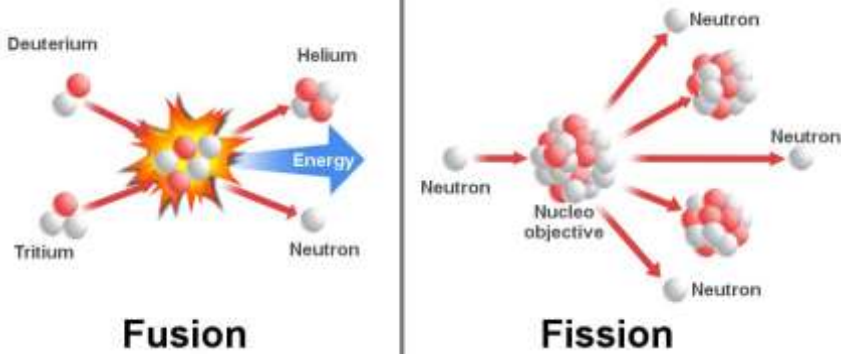
- 3. Energi Elektromagnetik** : merupakan gelombang transversal yang merambat tanpa media (melewati ruang hampa). Gelombang elektro magnetic mengandung energi listrik dan magnet. Energi elektromagnetic menyebabkan munculnya energi panas dan cahaya pada spektrum tertentu. Gelombang elektromagnetik memiliki spektrum, frekuensi dan Panjang gelombang yang berbeda. Contoh gelombang elektromagnetik adalah infrared, ultraviolet, cahaya tampak maupun microwaves.

$$Energi_{elektromagnetik} = hf \quad (18)$$

Dimana h : konstanta Planck (Js)

f : frekuensi (Hz)

4. **Energi Nuklir** : merupakan energi panas yang didapat akibat reaksi fisi dan fusi pada inti atom. Reaksi fusi merupakan reaksi penggabungan dua inti atom menjadi atom yang lebih besar pada temperature dan tekanan tinggi. Reaksi fusi terjadi pada matahari dimana atom Hidrogen (H) berubah menjadi He (Helium). Reaksi fusi memerlukan energi dalam jumlah besar untuk memulai penggabungan atom. Namun saat reaksi fusi terjadi temperature disekitar atom akan meningkat secara drastis akibat pelepasan panas ke lingkungan.



Gambar 2.4. Energi Reaksi fisi dan fusi pada atom
(*nuclear fusion - Eschool, no date*)

Reaksi fisi terjadi saat inti atom ditembak oleh partikel, kemudian inti atom akan pecah menjadi dua atom yang berukuran lebih kecil. Proses pemecahan atom akan menghasilkan energi besar. Atom yang digunakan pada reaksi fisi untuk menghasilkan energi nuklir adalah plutonium dan uranium. Energi nuklir yang diperoleh dari reaksi fusi dan fisi dinyatakan dalam persamaan

$$Energi_{nuklir} = mc^2 \quad (19)$$

Dimana m : massa atom (kg)

C : kecepatan cahaya (m/s)

5. **Energi kimia** : merupakan energi yang dihasil dari reaksi antar zat kimia. Secara sederhana pemanfaatan energi kimia dalam kehidupan sehari-hari terjadi saat pemecahan karbohidrat dan sari-sari makanan menjadi energi ditubuh manusia. Selain itu proses fotosintesis juga merupakan gambaran dari proses pengubahan CO₂, air dan zat hara menjadi karbohidrat dan oksigen. Reaksi antara molekul kimia menghasilkan energi berupa panas ataupun listrik. Perubahan energi kimia menjadi energi listrik dihasilkan melalui reaksi reduksi oksidasi (redoks). Proses perubahan energi kimia menjadi panas terjadi melalui reaksi endoterm dan eksoterm. Contoh proses perubahan energi kimia menjadi bentuk energi lain terjadi pada penggunaan baterai, aki, reaksi pembakaran, pencernaan, fotosintesis dan respirasi.

6. **Energi thermal / Kalor** : merupakan perpindahan energi yang terjadi akibat perbedaan temperature diantara dua titik. Proses perpindahan energi terjadi melalui proses konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui perantara benda padat, misalnya perpindahan panas pada besi yang dipanaskan. Konduksi terjadi akibat ikatan antara molekul benda bergetar dan menghasilkan panas. Perpindahan panas konveksi terjadi dengan perantara fluida, misalnya pada air yang dipanaskan. Sedangkan proses perpindahan panas radiasi terjadi tanpa perantara. Proses radiasi terjadi diruang hampa, misalnya gelombang panas matahari ke bumi. Secara sederhana energi thermal (panas) dapat dihitung melalui persamaan :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (20)$$

Dimana Q : Kalor (Joule)

m : massa (kg)

c : specific heat (J/kg°C)

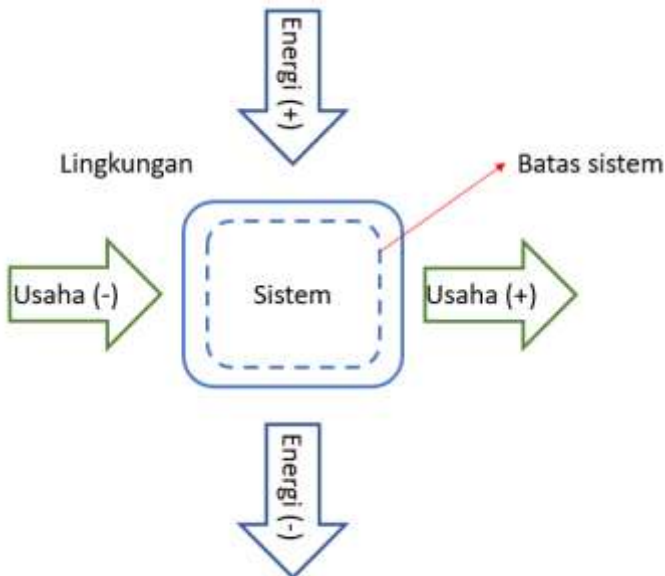
T : Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Sumber energi panas diperoleh secara alami melalui panas bumi dan matahari. Selain itu energi panas diperoleh dari reaksi kimia dan pembakaran.

2.7 Hukum Thermodinamika

2.7.1 Sistem dan Lingkungan

Saat akan menghitung energi dalam suatu benda, kita perlu mendefinisikan jenis energi yang dimiliki benda serta. Hal ini dikarenakan persamaan yang digunakan dalam menghitung energi akan berbeda tergantung dengan kondisi sistem yang ditinjau. Sistem merupakan suatu kondisi / daerah / skema yang dihitung atau diperhatikan. Kondisi diluar sistem disebut dengan lingkungan. Sistem dan lingkungan dibatasi oleh boundary sistem (garis batas).



Gambar 2.5. Energi dan usaha yang masuk keluar sistem

Energi dan usaha yang melintasi batas sistem dalam perhitungan termodinamika, arah perpindahan energi keluar dan masuk dalam suatu sistem perlu dinyatakan dalam dengan tanda positif dan negatif. Kondisi ini ditunjukkan dalam bagan di gambar 3. Energi yang masuk kedalam sebuah sistem dinyatakan dengan tanda positif (+). Sedangkan Energi yang meninggalkan sistem dinyatakan dengan tanda negatif (-). Suatu sistem dinyatakan pasif bila ada usaha yang masuk kedalam sistem sehingga diberi tanda negatif (-). Sebaliknya sebuah sistem yang aktif melakukan usaha ke lingkungan mengindikasikan sistem positif (+). Konsep ini nantinya akan digunakan dalam sistem perhitungan kekekalan energi. Perhitungan persamaan energi dan usaha pada sistem dinyatakan pada persamaan berikut.

$$Q = \Delta U + W \quad (20)$$

Dimana Q : kalor / energi (joule)

U : energi tersimpan / energi dalam (joule)

W: Usaha (joule)

Dalam persamaan tersebut energi dinyatakan pula sebagai kalor (Q). Sedangkan energi dalam (U) merupakan energi yang disimpan dalam system saat proses perpindahan energi berlangsung.

2.7.2 Sistem terbuka dan tertutup

Sistem yang ditinjau dalam proses perpindahan energi di klasifikasikan menjadi sistem terbuka dan tertutup(Nandagopal, 2022).

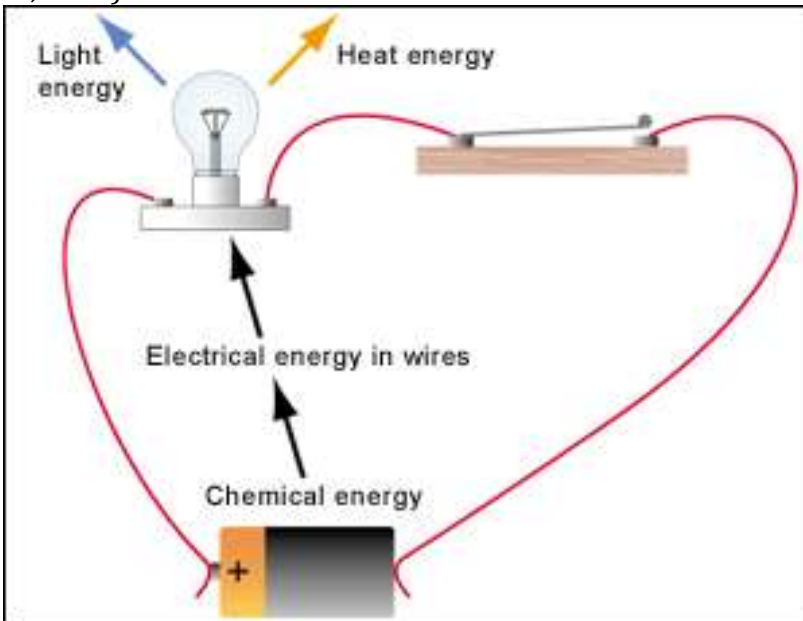
- Sistem tertutup (*close system*) disebut juga dengan control mass. Pada sistem tertutup tidak ada massa ataupun partikel yang keluar dan masuk dari batas sistem. Namun energi tetap dapat berpindah keluar dan masuk sistem. Contoh sistem tertutup : air di dalam panci yang dipanaskan diatas kompor.

- Sistem terbuka (open system) disebut juga dengan control volume. Pada sistem terbuka, partikel atau massa benda dapat berpindah melintasi batas sistem. Contoh sistem tertutup : proses pembakaran api unggun di luar lingkungan.

2.7.3 Sifat dan Hukum Energi

Energi memiliki sifat sebagai berikut :

"Energi bersifat abadi sehingga tidak dapat diciptakan dan tidak dapat di musnahkan. Namun energi dapat dipindahkan maupun di konversi dari suatu bentuk ke bentuk yang lain"(Kumar et al., 2018)



Gambar 2.7. Konversi energi listrik dan baterai

Proses konversi energi merupakan proses perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Proses konversi dilakukan untuk mempermudah manusia dalam memanfaatkan

energi. Misalnya energi kimia pada baterai di ubah menjadi energi listrik. Proses konversi energi, menghasilkan kehilangan energi (energy loss) berupa energi panas maupun energi gesek. Perpindahan dan konversi energi diatur dalam hukum termodinamika (Incropera *et al.*, 1996).

Tabel 2.1. Hukum Termodinamika

Hukum termodinamika 0 : Keseimbangan sistem <i>"Jika dua sistem berada dalam keseimbangan termal dengan sistem ketiga, maka mereka berada dalam keseimbangan termal satu sama lain"</i>
Hukum termodinamika 1 : Kekekalan energi <i>"Energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, melainkan hanya bisa diubah bentuknya saja"</i>
Hukum termodinamika 2 : Perpindahan kalor alami <i>"Kalor mengalir secara alami dari benda yang panas ke benda yang dingin; kalor tidak akan mengalir secara spontan dari benda dingin ke benda panas tanpa dilakukan usaha"</i>
Hukum termodinamika 3 : Perpindahan kalor alami <i>"Entropi dari suatu kristal sempurna pada absolut nol adalah sama dengan nol"</i>

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyati, T. 2020. *Interactive Physics Mobile Learning Media (IPMLM) Sebuah Kajian Tematik tentang Hukum Newton Tentang Gerak*. Available at: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=sCAPEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR6&dq=ebuah+Kajian+Tematik+tentang+Hukum+Newton+Tentang+Gerak.&ots=ZDvLkwnggR&sig=zaPat07zCD3MZI07rdZ0fme9VwU> (Accessed: 14 October 2022).
- Incropera, F. *et al.* 1996. *Fundamentals of heat and mass transfer*. Available at: http://www.mid-contracting.com/sites/default/files/webform/careers_webform/_sid_/pdf-fundamentals-of-heat-and-mass-transfer-frank-p-incropera-david-p-dewitt-pdf-download-free-book-7841c05.pdf (Accessed: 13 October 2022).
- Kumar, R. *et al.* 2018. 'Recent advances in the synthesis and modification of carbon-based 2D materials for application in energy conversion and storage', *Progress in Energy and Combustion Science*, 67, pp. 115–157. doi: 10.1016/J.PECS.2018.03.001.
- Mansyur, A. R. 2020. 'Dampak COVID-19 Terhadap Dinamika Pembelajaran Di Indonesia', *Education and Learning Journal*, Vol. 1, No, pp. 113–123.
- Nandagopal, P. N. S. 2022. 'Conservation of Energy and First Law of Thermodynamics', *Fluid and Thermal Sciences*, pp. 341–369. doi: 10.1007/978-3-030-93940-3_14.
- nuclear fusion - Eschool* (no date). Available at: <https://eschool.iaspaper.net/pros-cons-of-nuclear-energy/nuclear-fusion/> (Accessed: 13 October 2022).
- Utomo, K. S. 2016. 'REDIFINISI BESARAN KERJA, DAYA, DAN ENERGI SEBAGAI BESARAN VEKTOR', *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 16(1), pp. 39–50. doi: 10.15294/jtsp.v16i1.7230.

BAB 3

SISTEM PENGKONDISIAN UDARA

Oleh Irwanto

3.1 Pendahuluan

Dalam Sistem pengkondisian udara yang lebih dikenal dengan sebutan *Air Conditioning* (AC) adalah suatu sistem untuk mendinginkan udara sehingga dapat dicapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari ruangan atau tempat tertentu, selain itu berfungsi juga untuk mengatur aliran udara dan kebersihannya. Saat ini pengkondisian udara sudah banyak digunakan, antara lain pada bidang industri, rumah tinggal, kos-kosan, pertokoan, perkantoran, hotel, dan kendaraan. Untuk kendaraan dapat digunakan pada mobil, bus, kereta api, kapal laut dan pesawat terbang dan sebagainya (Arismunandar, W & Saito, H, 2002).

Penyegaran udara merupakan suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu (Arismunandar, W & Saito, H, 2002). Selain itu mengatur aliran udara dan kebersihannya. Di beberapa Negara tertentu, beberapa faktor kesegaran yang dimaksudkan diatas bahkan ditetapkan dalam Undang-undang (UU), sesuai dengan tujuan penggunaan ruangan, salah satu adalah kantor, hotel, kampus dan sebagainya. Menyegarkan udara dari ruangan untuk memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang melakukan kegiatan tertentu (Arora, 2001).

Sistem Pengkondisian Udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap

kondisi udara dari suatu ruangan tertentu, mengatur aliran udara dan kebersihannya. Sistem Pengkondisian Udara pada umumnya dibagi menjadi dua golongan utama, yaitu:

1. Sistem pengkondisian Udara untuk kenyamanan, Menyegarkan udara dari ruangan untuk memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang melakukan kegiatan tertentu.
2. Sistem Pengkondisian Udara untuk industri, Menyegarkan udara dari ruangan karena diperlukan oleh proses, bahan, peralatan atau barang yang ada di dalamnya (Sunarno, 2005).

Seiring dengan perkembangan dunia teknologi yang semakin modern saat ini maka, sistem pengkondisian udara untuk suatu gedung kantor Rektorat Universitas Sultan Ageng Tirtayasa sudah harus diperlukan untuk memberikan kenyamanan lingkungan kerja bagi para karyawannya. Dalam banyak hal penyegaran ini, juga diadakan untuk melindungi peralatan kantor. Keanekaragaman suhu dan kelembaban udara lingkungan sering berada pada keadaan di luar batas kemampuan adaptasi tubuh serta sistem pendingin, maka diperlukan kondisi yang baik pada lingkungan. Keadaan udara yang dirasakan nyaman oleh tubuh manusia menurut Stoecker (1989) adalah:

- a. Suhu = $20 - 26^{\circ}\text{C}$
- b. Kelembaban = $50 - 55\%$
- c. Kecepatan udara = $0,25\text{ m/s}$
- d. Kualitas udara (berhubungan dengan kesehatan, ketersediaan O_2) (Klemens A. Rahangmetan dkk, 2019).

Banyak hal yang mempengaruhi desain pengkondisian udara antara lain tempat yang akan dikondisikan (letak terhadap garis lintang, suhu, serta kelembaban), tujuan pengkondisian udara dan kapasitas yang terjadi. Dua hal yang penting dalam

perencanaan pengkondisian udara adalah beban pendingin dan pendistribusian udara. Perhitungan beban pendingin dilakukan secara cermat dan distribusi udara dilakukan secara merata (Klemens A. Rahangmetan dkk, 2019).

Sistem pengkondisian udara pada suatu ruang umumnya terdiri dari *evaporator*, *kondensor*, *receiver* dan kadang-kadang dilengkapi elemen pemanas yang tergabung menjadi satu dalam *evaporator housing* (Marwan Efendi, 2005). Kebanyakan unit pengkondisian udara digunakan untuk kenyamanan (*comfort air conditioning*), yaitu untuk menciptakan kondisi udara yang nyaman bagi orang yang berada di dalam suatu ruangan. Hal-hal yang mempengaruhi proses pendinginan ruangan. Perhitungan beban mesin refrigerasi yang direncanakan. Beban pendinginan yang terdapat pada suatu bangunan berasal dari banyak penyebab antara lain:

a. Penghuni

Manusia dalam setiap kegiatannya selalu mengeluarkan panas hasil dari metabolisme tubuh. Banyak yang dikeluarkan tergantung dari aktivitas yang dilakukan umur dan jenis kelamin. Semakin banyak yang dilakukan semakin banyak panas yang dihasilkan.

b. Sinar Matahari

Sinar matahari yang mengenai bangunan baik dinding, atap maupun pintu dan jendela akan meneruskan panas ke dalam gedung. Panas ini akan merambat secara konduksi, konveksi dan radiasi. Panas ini akan menaikkan suhu di dalam gedung sehingga perlu diperhitungkan pengaruhnya.

c. Infiltrasi

Infiltrasi adalah kerugian pendinginan yang disebabkan perembesan udara luar yang masuk ke dalam ruangan, baik lewat celah-celah pintu atau lubang ventilasi lainnya.

d. Ventilasi

Pengaruh dari ventilasi adalah untuk menambah atau mengurangi udara yang ada pada ruangan dengan udara luar supaya terdapat udara yang sehat dan segar.

e. Partisi

Panas partisi berasal dari ruang yang kondisinya berbeda atau perbatasan dengan yang tidak dikondisikan.

Dinding bangunan, luas permukaan dinding dapat diketahui dari dinding luar menurut jenis dan arahnya adalah:

a. Lantai satu (I)

Ukuran luas dinding batu bata dan arahnya:

1. Dinding selatan $15 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 48 \text{ m}^2$
2. Dinding utara $15 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 48 \text{ m}^2$
3. Dinding barat $40 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 128 \text{ m}^2$
4. Dinding timur $40 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 128 \text{ m}^2$

b. Lantai dua (II)

Ukuran luas dinding batu bata dan arahnya:

1. Dinding utara $15 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 48 \text{ m}^2$
2. Dinding selatan $15 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 48 \text{ m}^2$
3. Dinding barat $40 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 128 \text{ m}^2$
4. Dinding timur $40 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 128 \text{ m}^2$

Lampu dan peralatan listrik lainnya

Lampu penerangan serta peralatan listrik lainnya mengeluarkan panas. Dasarnya beban pendingin yang ditimbulkan dari alat-alat listrik ini tergantung daya yang digunakan. Sistem pendinginan di musim panas telah menjadi suatu kebutuhan pokok bagi bangunan di seluruh dunia, bahkan di wilayah yang suhu musim panasnya tidak terlalu tinggi, bangunan besar harus didinginkan untuk menyerap kalor yang dikeluarkan oleh orang, lampu-lampu dan peralatan listrik lainnya. Di dalam wilayah beriklim panas, sistem pendinginan menciptakan suasana kerja

yang lebih efektif dibandingkan dengan yang tidak menggunakannya, sehingga untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi (Yawara, Eka, Purnomo & Prajitno, 2002).

Dewasa ini terutama di daerah beriklim panas seperti di Indonesia, AC merupakan suatu kebutuhan yang tidak lagi mengandung arti kemewahan. Hal inipun juga merupakan kebutuhan pada sarana transportasi baik udara, laut, maupun darat. Pada transportasi darat terutama pada kendaraan mobil bus berada pada kondisi yang sudah kurang baik, sehingga walaupun sudah menggunakan AC, tetapi masih juga dirasakan kurang nyaman.

Pengkondisian udara diperlukan untuk memberikan kondisi lingkungan yang berudara nyaman, segar, dan bersih. Oleh karena itu perlu perlakuan proses terhadap udara untuk mengatur temperatur, kelembaban dan kebersihan, serta mendistribusikannya secara serentak guna memenuhi kenyamanan yang diinginkan. Sesuai dengan namanya, tata udara atau pengkondisian udara berkaitan dengan kondisi udara di dalam suatu ruang tertentu. Tata udara tidak hanya berkaitan dengan pengaturan suhu udara melainkan juga pengaturan kelembaban dan pergerakan udara ruang termasuk penyaringan udara untuk mendapatkan udara ruang yang bersih serta bebas polutan. Salah satu contohnya adalah bus yang dilengkapi dengan sistem pengkondisian udara cenderung merupakan alternatif utama bagi para penumpang yang ingin menggunakan kendaraan angkutan umum atau bus, alasannya adalah: (a) Kenyamanan dalam perjalanan, (b) Keamanan, dan (c) Ketepatan waktu dalam perjalanan.

3.2 Sistem Pengkondisian Udara

Sistem pengkondisian udara dimaksudkan untuk mendapatkan udara yang selalu nyaman, ini didapat melalui proses perlakuan pengaturan terhadap suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang diinginkan. Pengaturan kecepatan radiasi termal, dan kualitas udara seperti penyisihan partikel-partikel dan uap-uap pengotoran. Dengan dikondisikannya udara pada suatu ruang selain diperoleh efek kenyamanan juga diharapkan aktivitas atau kerja yang dilakukan pada ruangan tersebut akan semakin efektif dan efisien.

Ada beberapa faktor yang berhubungan dengan kenyamanan suatu lokasi yaitu bentuk dan ukuran ruangan, pemilihan unit mesin pengkondisian udara dan yang tidak kalah pentingnya adalah sirkulasi udara dalam ruangan tersebut. Sirkulasi udara dalam ruangan berkaitan dengan jumlah daya AC yang terpasang dan tempat pemasangannya. Olehnya itu sebelum pemasangan sistem pengkondisian udara (AC) maka terlebih dahulu dilakukan perancangan sistem pendingin yang akan digunakan sehingga kenyamanan yang diharapkan dapat tercapai dan sesuai dengan kebutuhan serta hemat dalam penggunaan daya listrik.

Penggunaan AC memerlukan perhitungan beban pendinginan yang tepat sesuai dengan beban di ruangan, sehingga pemanfaatannya menjadi lebih efektif dan efisien, karena apabila pemanfaatannya tidak tepat akan berakibat pada kenyamanan udara yang diperoleh tidak optimal.

Teknik pengkondisian udara tidak hanya berfungsi sebagai pendingin tetapi lebih daripada itu. Definisi pengkondisian udara nyaman (*comfort air conditioning*) adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh

penghuni yang berada di dalamnya. Oleh karena itu teknik pengkondisian udara juga mencakup usaha pemanasan (yang tidak menerapkan teknik refrigerasi kecuali untuk pompa kalor), seperti pengaturan kecepatan, radiasi termal, dan kualitas udara termasuk penyisihan partikel dan uap pengotor.

Pengkondisian udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dan suatu ruangan tertentu. Selain itu, mengatur aliran udara dan kebersihannya. Di beberapa negara, beberapa faktor kesegaran tersebut di atas ditetapkan dalam Undang-undang, sesuai dengan tujuan penggunaan ruangan, misalnya untuk kantor, hotel, dan sebagainya.

3.2.1 Jenis Kalor

Jenis kalor pada sistem pengkondisian udara adalah sebagai berikut:

- a. Kalor Sensibel, adalah suatu kalor yang berhubungan dengan perubahan temperatur dari udara. Penambahan kalor sensibel (*sensible heat gain*) adalah kalor sensibel yang secara langsung masuk dan ditambahkan ke dalam ruangan yang dikondisikan melalui konduksi, konveksi atau radiasi.
- b. Kalor Laten, adalah suatu kalor yang berhubungan dengan perubahan fasa dari air. Penambahan kalor laten (*latent heat gain*) terjadi apabila ada penambahan uap air pada ruangan yang dikondisikan, misalnya karena penghuni ruangan atau peralatan yang menghasilkan uap.

3.2.2 Beban Kalor Ruangan

Beban kalor ruangan adalah laju aliran kalor yang harus diambil dari dalam ruangan untuk mempertahankan temperatur dan kelembaban udara relatif ruangan pada kondisi yang diinginkan. Beban kalor ruangan dibagi dalam 2 bagian:

a. Beban Kalor Luar (*external cooling load*)

Beban pendinginan ini terjadi akibat penambahan panas di dalam ruangan yang dikondisikan karena sumber kalor dari luar yang masuk melalui selubung bangunan (*building envelope*), atau kerangka bangunan (*building shell*) dan dinding partisi. Sumber kalor luar yang termasuk beban pendinginan ini adalah:

- 1) Surya yang ditransmisikan melalui kaca
- 2) Radiasi surya yang melalui dinding dan atap, dikonduksikan kedalam ruang dengan memperhitungkan efek penyimpanan melalui dinding
- 3) Panas konduksi dan konveksi melalui pintu dan kaca jendela akibat perbedaan temperatur
- 4) Panas karena infiltrasi oleh udara akibat pembukaan pintu dan melalui celah-celah jendela
- 5) Panas karena ventilasi

b. Beban Kalor Dalam Ruangan (*internal cooling load*)

Beban kalor ini terjadi karena dilepaskannya kalor sensibel maupun kalor laten dari sumber yang ada di dalam ruangan yang dikondisikan (Samnur, 2011) Sumber kalor yang termasuk beban kalor dalam adalah:

- 1) Panas karena penghuni
- 2) Panas karena lampu dan peralatan listrik
- 3) Panas yang ditimbulkan oleh peralatan lain

Beban kalor total merupakan jumlah beban kalor tiap ruang. Beban ruang tiap jam dipengaruhi oleh perubahan temperatur udara luar, perubahan intensitas radiasi surya dan efek penyimpanan panas pada struktur/dinding bagian luar bangunan gedung.

Hal-hal yang Mempengaruhi Pengkondisian Udara, yaitu Besar Bangunan atau Ruangan yang Dikondisikan Gedung dengan jendela-jendela besar atau yang dilengkapi dengan

lampu-lampu termasuk dalam golongan ruangan yang dikenai panas radiasi lebih banyak (Samnur, 2011). Penggunaan kaca yang bersifat endotermik dan penggunaan lapisan pemantul sinar ada jendela, tentu dapat mengurangi panas radiasi matahari ke dalam ruangan yang bersangkutan. Mengenai gedung yang lebih dan 55% ruangnya dikenai beban panas laten lebih besar daripada panas sensibelnya, akan diterangkan kemudian secara terperinci, misalnya, rumah berukuran besar, ruangan pertemuan, restoran, gedung bioskop, dan sebagainya.

1. Luas Lantai

Luas lantai adalah jarak panjang dikalikan lebar ruangan seperti pada gambar dimana jarak antara garis-garis teras tembok digunakan dalam perhitungan ini.

2. Volume Ruangan

Volume ruangan adalah luas lantai dikali jarak antara titik tengah lantai dan titik tengah langit-langit.

3.2.3 Radiasi Sinar Matahari

Radiasi adalah proses di mana panas berpindah dari sumbernya (matahari, api, dan sebagainya) ke sebuah benda dengan cara penyinaran panas (Samnur, 2011). Prinsip ini didasari fenomena bahwa panas berpindah dari permukaan yang panas ke permukaan yang dingin. Radiasi terjadi tidak bergantung seperti konveksi, dan tidak memerlukan udara yang bergerak untuk melengkapi terjadinya perpindahan panas dan tidak dipengerahui oleh temperatur udara walau dipengaruhi oleh temperatur sekeliling.

3.2.4 Aktivitas Manusia

Semua makanan yang masuk ke dalam badan mengandung panas dalam bentuk kalori. Proses perubahan menghasilkan panas dan semua pergerakan badan tidak hanya menghabiskan energi yang disimpan, tetapi juga menambah

panas pada proses konversi. Pengeluaran panas badan secara konstan berlangsung melalui tiga proses alamiah yang biasanya terjadi secara simultan (Samnur, 2011), bertemperatur lebih rendah dari temperatur kulit badan.

Panas akan membumbung naik. Hal ini dapat dilihat dari asap yang berasal dari rokok yang menyala. Bila dua fenomena ini diterapkan pada proses pengeluaran panas tubuh manusia, hal berikut akan terjadi:

- 1) Badan menyerahkan panasnya ke udara dingin di sekeliling badan.
- 2) Udara disekeliling menjadi hangat dan akan bergerak ke atas.
- 3) Ketika udara hangat bergerak ke atas, tempatnya digantikan udara dingin, maka terjadilah aliran konveksi (Samnur, 2011).

Radiasi adalah proses di mana panas berpindah dari sumbernya (matahari, api, dan sebagainya) ke sebuah benda dengan cara penyinaran panas. Prinsip ini didasari fenomena bahwa panas berpindah dari permukaan yang panas ke permukaan yang dingin. Radiasi terjadi tidak bergantung seperti konveksi, dan tidak memerlukan udara yang bergerak untuk melengkapi terjadinya perpindahan panas dan tidak dipengaruhi oleh temperatur udara walau dipengaruhi oleh temperatur sekeliling.

Evaporasi/Penguapan adalah proses di mana tetes air menjadi uap air. Ketika tetes air dari permukaan yang panas menguap, ia mengambil panas dan karenanya permukaan itu jadi dingin. Proses ini berlangsung konstan pada permukaan badan kita. Tetes air keluar melalui pori-pori badan di permukaan kulit, ketika tetes air menguap, panas diambilnya (Samnur, 2011).

Lampu merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan, karena panas yang di hasilkan akan mempengaruhi pengkondisian udara dalam suatu ruangan. Jumlah perolehan kalor dari dalam ruangan yang disebabkan oleh penerangan/lampu tergantung pada daya dari lampu dan jenis/cara pemasangannya (Samnur, 2011).

Peralatan-peralatan listrik sangat mempengaruhi pengkondisian udara dalam suatu ruangan, karena peralatan tersebut juga akan menghasilkan panas. Misalnya saja komputer, kulkas, kipas angin, dan lain sebagainya (Samnur, 2011).

3.3 Klasifikasi Sistem Pengkondisian Udara

Sistem Pengkondisian Udara dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

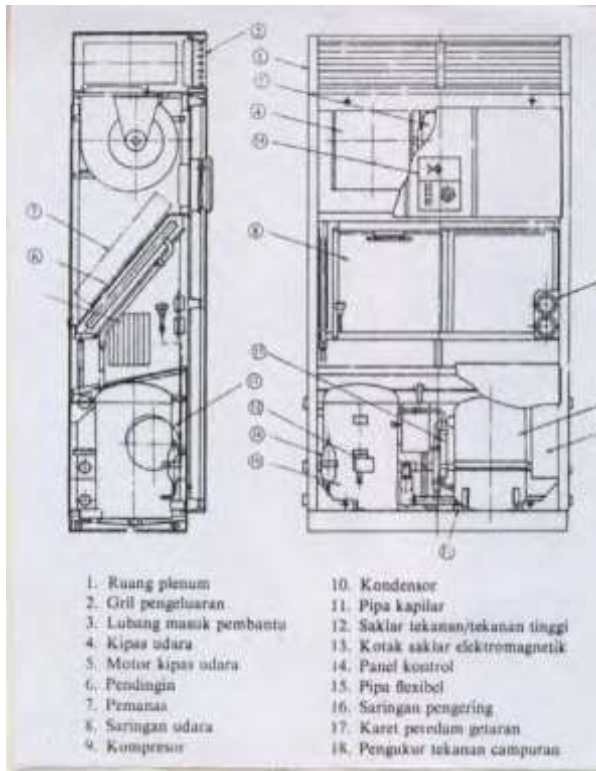
3.3.1 AC Paket

Pada AC paket udara yang dikondisikan temperaturnya mengalami perpindahan panas langsung dengan refrigeran, jadi tidak diperlukan refrigeran sekunder seperti air dan sebagainya. AC jenis dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. AC Portabel

Pada AC Portabel komponen-komponen utama disimpan pada ruangan yang akan dikondisikan. Udara yang akan dikondisikan didinginkan oleh evaporator dan diisap melalui kipas, sedangkan udara yang dipakai untuk mendinginkan kondensor diambil dari ruangan itu juga lalu dibuang melalui cerobong ke luar ruangan yang di kondisikan udaranya.

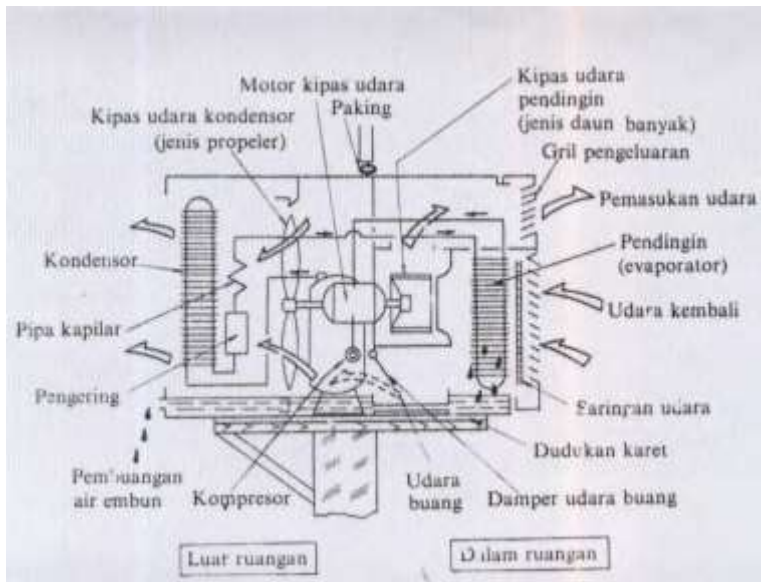
Kelemahan dari unit ini adalah kemampuan mendinginkan ruangan akan semakin berkurang jika unit beroperasi semakin lama, karena panas yang dihasilkan baik oleh kondensor maupun kompresor akan terserap ke dalam evaporator.



Gambar 3.1. Penyegar Udara Jenis Paket

2. Type Jendela (*window*)

Pada tipe jendela ini seluruh komponen terpasang pada satu unit, sehingga unit ini diletakkan sebagian didalam ruangan yang akan dikondisikan udaranya dan sebagian lagi diletakkan diluar untuk membuang udara keluaran dari kondensor. Keuntungan dari jenis ini adalah pemasangan relatif lebih mudah, berukuran kecil, sedangkan kelemahannya segi distribusi udara dan nilai estetika yang rendah.



Gambar 3.2. Penyegar Udara Jenis Jendela (Window)

3. Type Terpisah (*Split*)

Pada jenis ini kompresor, kondensor, katup ekspansi dan kipas kondensor berada pada satu unit yang diletakkan di luar ruangan yang dikondisikan udaranya yang di sebut dengan out-door. Sedangkan evaporator, kipas evaporator dan unit kontrol biasanya diletakkan dalam satu unit dan diletakkan didalam ruangan yang disebut indoer. Keuntungan dari sistem ini adalah nilai estetika yang relatif tinggi, karena terdapat beberapa pilihan in-door yang biasa disesuaikan dengan arsitek gedung, juga kapasitas yang dipasang dapat beragam.



Gambar 3.3. Penyegar Udara Jenis Terpisah (*Split*)

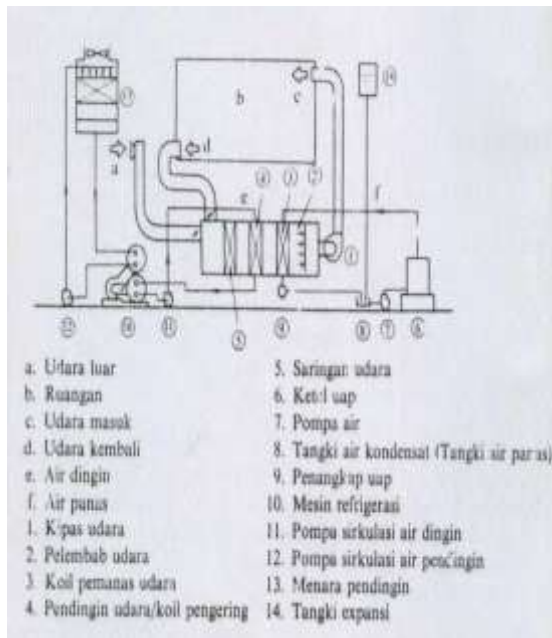
3.3.2 AC Sentral

Pada dasarnya prinsip kerja antara AC Sentral dan AC Paket sama, perbedaannya ada pada media pemindah kalor pada evaporator dan kondensor. Cairan yang bertekanan tinggi keluaran dari kondensor akan dimasukkan kedalam alat ekspansi yang digunakan untuk menurunkan tekanan yang akan menyebabkan penurunan temperatur evaporasi kemudian dimasukkan ke dalam evaporator.

Evaporator digunakan sebagai alat untuk menyerap kalor dari beban pendingin yang dibawa oleh air sehingga temperatur air yang dikondisikan akan turun dan refrigerant akan mengalami perubahan fasa dari cair ke gas dan akan

disirkulasikan kembali ke dalam kompresor. Siklus air panas dimulai dari kondensor dimana air akan mengambil panas pada refrigerant lalu air akan dimasukkan pada cooling tower sehingga panas air akan dibuang ke lingkungan, air yang sudah dingin disirkulasikan kembali oleh pompa masuk ke kondensor.

Sirkulasi air dingin dimulai di evaporator disini refrigerant akan mengambil kalor dari air sehingga air akan mengalami penurunan temperatur sedangkan refrigerant akan mengalami perubahan fasa dari cair ke fasa gas. Air sudah mengalami penurunan temperatur akan dialirkan ke dalam unit penukar kalor untuk menyerap panas beban pendingin dan air yang sudah menyerap panas akan disirkulasikan kembali kedalam evaporator melalui sebuah pompa.



Gambar 3.4. Skema Sistem Penyegaran Udara Sentral

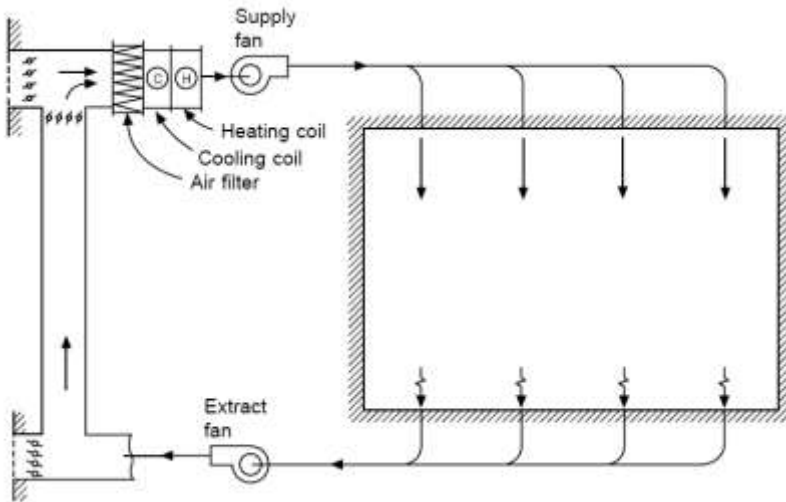
3.4 Penggolongan Sistem Pengkondisian Udara

Jenis yang mendasari penggolongan sistem pengkondisian udara sentral adalah untuk menjamin pengaturan pengaturan ruangan yang diteliti, maka sesuai dengan kemajuan teknik pengkondisian udara yang telah dicapai sampai pada saat ini, dapat dikembangkan beberapa sistem. Hal ini tersebut terutama menyangkut perkembangan elemen pendinginnya.

Jenis-jenis sistem penyegaran udara adalah sebagai berikut:

3.4.1 Sistem Udara Penuh

Pada sistem ini udara dari ruangan yang akan dikondisikan didinginkan oleh udara pendingin yang dihasilkan dari mesin pendingin (*air handling unit*) dimana pada unit ini udara akan membuang kalornya pada *air chilled water* kemudian dimasukkan ke dalam ruangan oleh blower sedangkan udara panas (*return air*) akan ditarik kembali ke dalam unit tersebut.



Gambar 3.5. Sistem Udara Penuh

3.4.2 Sistem Saluran Tunggal

Sistem ini merupakan sistem penghantar udara paling banyak dipergunakan. Campuran udara ruangan didinginkan dan dilembabkan, kemudian dialirkan kembali kedalam ruangan melalui saluran udara.

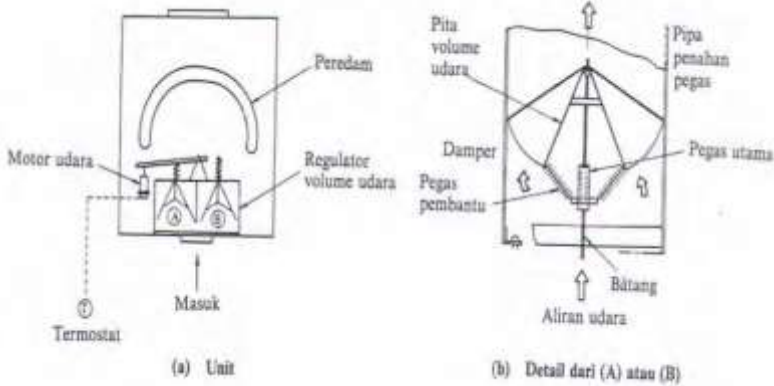
Keuntungan dari sistem ini adalah:

- a. Sederhana, mudah perancangannya, pemasangannya, pemakaiannya dan perawatannya.
- b. Biaya awal lebih rendah dan murah.

Kerugian dari sistem ini adalah

- a. Saluran utama berukuran besar sehingga memerlukan tempat yang lebih besar.
- b. Kesulitan dalam mengatur temperatur dan kelembaban dari ruangan yang sedang dikondisikan, karena beban kalor dari ruangan yang berbeda satu dengan lainnya.

Pada dasarnya sistem pengaturan untuk saluran tunggal menyangkut pengaturan temperatur udara melalui bagian-bagian utama dari saluran. Dalam hal tersebut, laju aliran dingin, laju aliran panas atau uap ke koil udara, diatur sedemikian rupa sehingga temperatur udara dapat diubah. Sistem ini dinamakan sistem volume konstan temperatur variable, yang sudah banyak dipergunakan dalam sistem penghantar udara. Dalam keadaan dimana beban kalor dari beberapa ruangan yang akan dilayani ini berbeda-beda, boleh dikatakan tidak mungkin mempertahankan udara ruangan pada suatu temperatur tertentu, kecuali bagi beberapa ruangan utama saja. Jadi masalah tersebut dapat dipecahkan dengan melayani ruangan dengan beban kalor yang sama oleh satu pengolah udara secara sentral.

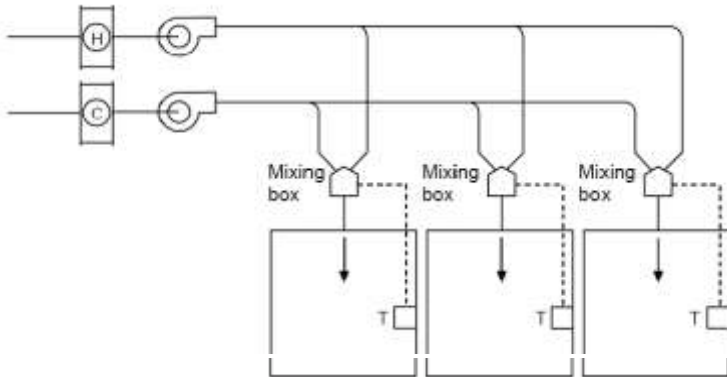


Gambar 3.6. Unit volume Udara Variable

3.4.3 Sistem Dua Saluran (Ganda)

Pada sistem ini udara panas dan udara dingin dihasilkan secara terpisah oleh mesin penyegar udara yang bersangkutan. Kedua jenis udara itupun disalurkan melalui saluran yang terpisah satu sama lain. Tetapi kemudian dicampur sedemikian rupa sehingga tercapai tingkat keadaan yang sesuai dengan beban kalor dari ruangan yang akan disegarkan. Sesudah itu disalurkan ke dalam ruangan yang bersangkutan. Dalam sistem ini, alat yang diperlukan untuk mencampur udara panas dan udara dingin dalam perbandingan jumlah aliran yang ditetapkan untuk memperoleh kondisi akhir yang didinginkan, dinamai alat pencampur.

Sistem dua saluran dapat memberikan hasil pengaturan yang lebih teliti. Tetapi memerlukan lebih banyak energi kalor dan lebih tinggi harga awalnya. Ada dua jenis sistem dua saluran, yaitu sistem volume konstan dan sistem volume variable.



Gambar 3.7. Sistem Dua Saluran (ganda) (Yuriadi, Kusuma)

Media sirkulasi yang digunakan pada sistem ac sentral yaitu refrigerant, air panas, dan air dingin. Proses sirkulasi refrigerant ac sentral sama dengan proses sirkulasi pada ac jenis paket dimana mempunyai empat komponen pokok diantaranya kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Refrigerant berbentuk gas yang berasal dari suction line dikompresi oleh kompresor sehingga temperatur dan tekanannya akan mengalami kenaikan, selanjutnya refrigerant akan dialirkan ke kondensor melalui discharge line. Gas bertemperatur dan bertekanan tinggi ini akan dialirkan ke kondensor untuk diturunkan temperaturnya sehingga gas tersebut akan berubah fasa menjadi cair.

Untuk mencairkan uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, keluaran dari kompresor diperlukan satu media pemindah kalor dari refrigerant ke lingkungan, biasanya yang digunakan adalah air sebagai medianya.

3.5 Refrigerant

Refrigerant merupakan suatu media pendingin yang dapat berfungsi untuk menyerap kalor dari lingkungan atau untuk melepaskan kalor ke lingkungan. Sifat-sifat fisik termodinamika refrigerant yang digunakan dalam sistem refrigerasi perlu diperhatikan agar sistem dapat bekerja dengan aman dan ekonomis, adapun sifat refrigerant yang baik adalah:

- a. Tekanan penguapannya harus tinggi, untuk menghindari
- b. kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.
- c. Tekanan pengembunan yang rendah sehingga perbandingan kompresinya rendah dan penurunan prestasi kompresi dapat dihindari.
- d. Kalor laten penguapan harus tinggi agar panas yang diserap oleh evaporator lebih besar jumlahnya, sehingga untuk kapasitas yang sama, jumlah refrigerant yang dibutuhkan semakin sedikit.
- e. Koefisien prestasi harus tinggi, ini merupakan parameter yang penting untuk menentukan biaya operasi
- f. Konduktifitas thermal yang tinggi untuk menentukan karakteristik perpindahan panas.
- g. Viskositas yang rendah dalam fasa cair atau gas. Dengan turunnya tahanan aliran refrigerant dalam pipa kerugian tekanannay akan berkurang.
- h. Konstanta dielektrik yang kecil, tahanan listrik yang besar serta tidak menyebabkan korosi pada material isolasi listrik.
- i. Refrigerant hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang digunakan sehingga tidak menyebabkan korosi.
- j. Refrigerant tidak boleh beracun dan berbau.

- k. Refrigerant tidak boleh mudah terbakar dan meledak.
- l. Dapat bercampur dengan minyak pelumas tetapi tidak merusak dan mempengaruhinya.

Tabel 3.1. Jenis dan Penggunaan Refrigerant (Arismunandar, Wiranto & Heizo Saito, 2002)

Refrigeran	Titik didih (°C)	Jenis Kompresor	Temperatur penguapan	Temperatur pengembunan	Penggunaan
R 11	23,8	Sentrifugal	Tinggi (pendinginan udara)	Biasa (pendinginan air, udara)	Pendinginan air sentrifugal
R 12	- 29,8	Torak, putar	Tinggi-rendah (pembekuan, pendinginan ruangan)	Biasa (pendinginan air, udara)	Penyegar udara, refrigerasi dan pendinginan
R 13	- 81,4	Torak, putar	Temperatur sangat rendah	Pendinginan biser	Refrigerasi temperatur sangat rendah
R 21	8,9	Torak, putar	Tinggi (pendinginan)	Tinggi (pendinginan udara)	Pendingin kabin alat pengangkat
R 22	- 40,8	Torak, putar	Tinggi-rendah (refrigerasi, pendinginan)	Biasa (pendinginan air, pendinginan udara)	Penyegar udara, refrigerasi pada umumnya, pendinginan
R 113	47,6	Sentrifugal	Tinggi (pendinginan)	Biasa (pendinginan air, pendinginan udara)	Pendingin air sentrifugal ukuran kecil
R 502	- 45,6	Torak, putar	Tinggi-rendah (refrigerasi, pendinginan)	Biasa (pendinginan air, pendinginan udara)	Lemari pamer, unit temperatur rendah

3.6 Siklus Pendinginan

Siklus pendinginan terdiri dari empat proses, yaitu:

1. **Evaporasi (Penguapan)**

merupakan proses pertukaran panas udara ruangan dengan refrigerant. Pada tahap ini terjadi pertukaran kalor di evaporator, dimana kalor dari lingkungan atau media yang didinginkan diserap oleh refrigerant cair dalam evaporator sehingga refrigerant cair yang berasal dari katup ekspansi yang bertekanan dan bertemperatur rendah berubah fasa dari fasa cair menjadi uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi.

2. **Kompresi**

Memiliki dua fungsi:

Pertama, untuk menghisap refrigerant dari evaporator dan menekannya ke kondenser. Kedua, untuk meningkatkan tekanan refrigerant. Pada tahap ini terjadi di kompresor dimana refrigerant yang berfasa uap dengan temperatur dan tekanan rendah dikompresi secara isentropic sehingga temperatur dan tekanannya menjadi tinggi (Arismunandar, Wiranto & Heizo Saito, 2002).

3. **Kondensasi (Pengembunan)**

Memiliki dua fungsi:

Pertama, untuk membuang panas yang disimpan refrigerant pada evaporator. Kedua, untuk mengubah fase refrigerant dari uap menjadi cairan. Pada tahap ini terjadi didalam kompresor, dimana panas dari refrigerant yang berfasa uap dari kompresor dibuang ke lingkungan sehingga refrigerant tersebut mengalami kondensasi. Pada tahap ini terjadi perubahan fasa dari fasa uap superheat menjadi fasa cair jenuh, pada fasa cair jenuh ini tekanan dan termperaturnya masih tinggi.

4. Ekspansi

Mengubah cairan refrigerant yang panas menjadi cairan yang dingin dengan menurunkan tekanannya. Pada tahap ini terjadi di katup ekspansi dimana refrigerant diturunkan tekanannya yang diikuti dengan turunnya temperatur isentalphi (Sunarno, 2005).

Sistem pengkondisian udara merupakan suatu sistem yang bekerja untuk mengatur kondisi udara (temperatur dan kelembaban) dalam suatu ruangan, agar didapatkan kualitas udara yang bagus dan nyaman bagi penghuni di dalam ruangan tersebut. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) disebutkan bahwa standar kenyamanan dalam suatu ruangan berkisar diantara 24 – 27 °C serta nilai kelembaban udara berkisar 55 – 56%. Untuk dapat memenuhi standar kriteria nyaman bagi suatu ruangan maka diperlukan peralatan tambahan agar kondisi ruangan dapat digunakan dengan nyaman yaitu, sistem pengkondisian udara AC (*Air Conditioning*)(SNI, 2001).

Untuk mendapatkan standar suhu, kelembaban dan tekanan udara yang sesuai dengan suatu ruangan, maka perlu mengikuti standar yang sudah ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI-6389, 2011) yang mengatur tentang konservasi energi pada sistem tata udara bangunan gedung. Pada era globalisasi ini sudah banyak gedung-gedung modern yang menggunakan berbagai cara agar dapat memberikan kenyamanan bagi penghuni dan tamu. Fasilitas yang diberikan oleh gedung/hotel tersebut dalam hal kenyamanan disebut dengan *utilitas* (kelengkapan fasilitas dari suatu bangunan) gedung, dengan penyebaran konsumsi listrik dan sistem pengkondisian udara (AC) merupakan penyumbang konsumsi energi terbesar. Terdapat dua jenis dalam sistem pengkondisian udara yaitu, Sistem pengkondisian udara langsung (*Direct Cooling*) dan

sistem pengkondisian udara tak langsung (*Indirect Cooling*) (Suhendar dkk, 2013).

3.6.1 Sistem Pengkondisian Udara Langsung (*Direct Cooling*)

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

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

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

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

3.7 Jenis-Jenis Alat Pengkondisian Udara

Air Conditioning (AC) merupakan alat pengkondisian udara yang banyak digunakan dalam sebuah bangunan, baik itu gedung, rumah, dan sebagainya. Sistem pengkondisian udara (AC) terdiri dari berbagai jenis diantaranya adalah sebagai

berikut, AC *split*, AC *cassette*, AC *window*, AC *standing*, AC *split duck*, AC *central*.

3.7.1 AC *Split*

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



Gambar 3.8. AC *Split* (Susanto dkk, 2017)

3.7.2 AC Cassette

AC *cassette* merupakan AC yang bagian evaporatornya dipasang pada langit-langit bangunan. AC *cassette* sendiri memiliki bentuk dan daya yang berbeda-beda mulai dari 1,5 PK hingga 6 PK. Pada Gambar 9 AC *cassette* terletak di langit-langit ruangan, untuk memasang AC jenis ini diperlukan tenaga khusus atau orang yang ahli dalam memasang AC ini, tidak seperti memasang AC jenis *split* yang dapat dipasang dengan mudah (Saputra, 2018).



Gambar 3.9. AC Cassette (Susanto dkk, 2017)

3.7.3 AC Window

AC *Window* merupakan jenis AC yang semua komponen utamanya terpasang dalam satu *base plate*. Setelah itu *base plate* beserta semua komponen AC tersebut dimasukkan kedalam kotak plat sehingga menjadi satu unit kesatuan. AC *window* adalah AC yang penerapan sistem pengkondisian udaranya berfokus pada ruangan berukuran kecil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 unit AC ini dibuat dengan ukuran kecil agar sesuai dengan ukuran jendela (Saputra, 2018).



Gambar 3.10. AC Window (Susanto dkk, 2017)

3.7.4 AC Standing

AC *standing* dan AC *split* merupakan jenis AC yang hampir semua komponen dan cara kerjanya memiliki kemiripan. Perbedaan diantara keduanya adalah pada AC jenis *split* unit *indoor* terpasang di dinding. Seperti pada Gambar 11 AC *Standing* diletakkan di dalam ruangan langsung dan dapat dipindah-pindah. Perbedaan antara AC *standing* dengan AC *split* terletak pada kapasitasnya, dimana pada AC jenis *standing* memiliki kapasitas lebih besar. Pada pengaplikasiannya AC *standing* banyak digunakan untuk kegiatan yang bersifat sementara (Susanto dkk, 2017).



Gambar 3.11. *AC Standing* (Susanto dkk, 2017)

3.7.5 AC Split Duct

AC split duct merupakan jenis AC yang pendistribusian udaranya menggunakan sistem *ducting*. Pada *AC split duct* pengaturan suhunya dilakukan/dikontrol pada satu titik. Pengaplikasian AC jenis ini banyak dimanfaatkan pada gedung-gedung dengan ruangan yang cukup luas. Pada Gambar 12 *AC split duct* menggunakan sistem *ducting* yang merupakan suatu material yang berfungsi untuk mendistribusikan udara ke arah/ruangan yang dikondisiakan dengan mempertimbangkan dimensi dan media penyalur yang digunakan sebagai media pendistribusian udara. Semakin pesatnya perkembangan teknologi tuntutan desain *ducting* untuk AC yang lebih kompetibel dan efisien lebih diminati di pasaran (Susanto dkk, 2017).



Gambar 3.12. *AC Split Duct* (Susanto dkk, 2017)

3.8 Kenyamanan Termal

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

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

1. Temperatur

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

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

2. Kelembaban

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

3. Pergerakan Udara (Kecepatan udara)

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

4. *Mean Radiant Temperature* (MRT)

Merupakan suhu radiasi rata-rata, disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah pancaran dari radiasi sinar matahari. Pada umumnya MRT harus dikondisikan agar selalu sesuai dengan suhu udara lingkungan (SNI, 2001).

Pengkondisian udara adalah proses untuk mengkondisikan temperature dan kelembapan udara agar memenuhi persyaratan tertentu. Selain itu kebersihan udara, kecepatan dan distribusinya di dalam ruangan yang dikondisikan juga merupakan factor yang tidak kalah pentingnya. Bila pengkondisian udara ini ditujukan untuk kenyamanan penghuninya maka konsentrasi oksidasi oksigen juga merupakan factor yang tidak bisa dilupakan. Pengkondisian udara biasanya dilakukan untuk:

5. Kenyamanan Yaitu untuk memberi kenyamanan penghuninya dalam melakukan aktifitas tertentu ataupun selagi istirahat.
6. Proses Yaitu ditujukan untuk menjaga kondisi udara di dalam ruangan proses, agar yang dimaksud dapat berjalan dengan lancar.

3.9 Beban Pendinginan (*Cooling Load*)

Ada banyak faktor yang diperhitungkan dalam menentukan besarnya beban pendinginan pada suatu pengkondisian udara. Faktor-faktor ini mempunyai dampak bagi kapasitas sistem, pengendalian, perancangan, dan penempatan sistem saluran udara. Salah satu pengaplikasiannya yaitu penempatan unit-unit hangat di bawah jendela atau di sepanjang dinding luar dapat mengatasi pengaruh suhu rendah dari permukaan-permukaan tersebut. Perpindahan kalor melalui suatu kerangka bangunan dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, faktor geometris, ukuran, bentuk, orientasi, dan faktor cuaca.

Untuk dapat mengetahui nilai total beban pendinginan pada suatu ruangan, maka dalam melakukan perhitungan nilai beban pendinginan dibagi menjadi dua yaitu, beban pendinginan luar (eksternal) merupakan perhitungan yang dilakukan dengan memperhatikan koefisien kalor menyuluruh

(U), jenis material, dan perbedaan temperatur dari dinding, atap, kaca, lantai, pintu, dan infiltrasi. Sedangkan beban pendinginan dalam (internal) merupakan perhitungan yang dilakukan terhadap koefisien kalor menyeluruh yang ada di dalam ruangan itu sendiri, kalor yang dikeluarkan oleh sistem penerangan, kalor yang dikeluarkan dari aktivitas penghuni di dalam ruangan, dan peralatan elektronik yang digunakan. Pembagian beban pendingin dengan menggunakan metode CLTD (Stoecker, 1983).

3.10 Dasar-Dasar Psikometrik

Psikometrik merupakan suatu bahasan tentang sifat-sifat campuran udara dengan uap air, dan ini mempunyai arti yang sangat penting dalam pengkondisian udara karena udara pada atmosfer merupakan percampuran antara udara dan uap air, jadi tidak benar-benar kering. Kandungan uap air dalam udara pada untuk suatu keperluan harus dibuang atau malah ditambahkan. Pada bagan psikometrik ada dua hal yang penting, yaitu penguasaan akan dasar-dasar bagan dan kemampuan menentukan sifat-sifat pada kelompok-kelompok keadaan lain, misalnya tekanan barometrik yang tidak standar.

Untuk memahami proses-proses yang terjadi pada karta psikometrik perlu adanya pemahaman tentang hukum Dalton dan sifat-sifat yang ada dalam karta psikometrik, antara lain (Yuriadi, Kusuma):

1. Temperatur Bola Kering

Temperatur bola kering merupakan temperatur yang terbaca pada termometer sensor kering dan terbuka, namun penunjukan dari temperatur ini tidak tepat karena adanya pengaruh radiasi panas.

2. Temperatur Bola Basah

Temperatur bola basah merupakan temperatur yang terbaca pada termometer dengan sensor yang dibalut

dengan kain basah. Untuk mengukur temperatur ini diperlukan aliran udara sekurangnya adalah 5 m/s. Temperatur bola basah sering disebut dengan temperatur jenuh adiabatik.

3. Titik Embun

Titik embun adalah temperatur air pada keadaan dimana tekanan uapnya sama dengan tekanan uap air dari udara. Jadi pada temperatur tersebut uap air dalam udara mulai mengembun dan hal tersebut terjadi apabila udara lembab didinginkan. Pada tekanan yang berbeda titik embun uap air akan berbeda, semakin besar tekanannya maka titik embunnya semakin besar.

4. Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif didefinisikan sebagai perbandingan fraksi molekul uap air di dalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh pada suhu dan tekanan yang sama, atau perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di dalam udara dengan tekanan jenuh uap air yang ada pada

temperatur yang sama. Kelembaban relatif dapat dikatakan sebagai kemampuan udara untuk menerima kandungan uap air, jadi semakin besar RH semakin kecil kemampuan udara tersebut untuk menyerap uap air. Kelembaban ini dapat dirumuskan:

$$RH = \frac{P_w}{P_{ws}} \times 100\%$$

dimana:

P_w : Tekanan parsial uap air

P_{ws} : Tekanan jenuh uap air

5. Kelembaban spesifik (rasio kelembaban)

Kelembaban spesifik (w) adalah berat atau massa air yang terkandung didalam setiap kilogram udara kering, atau perbandingan antara massa uap air dengan massa udara kering yang ada didalam atmosfer. Kelembaban spesifik dapat dirumuskan (Yuriadi, Kusuma):

$$w = \frac{M_w}{M_a}$$

Dimana:

W : Kelembaban spesifik

M_w : Massa uap air

M_a : Massa udara kering

6. Entalpi

Entalpi merupakan energi kalor yang dimiliki oleh suatu zat pada temperatur tertentu, atau jumlah energi kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 kg udara kering dan x kg air (dalam fasa cair) dari 0°C sampai mencapai $t^\circ\text{C}$ dan menguapkannya menjadi uap air (fasa gas).

7. Volume spesifik.

Volume spesifik merupakan volume udara campuran dengan satuan meterkubik per kilogram udara kering.

3.11 Faktor Perhitungan Beban Pendingin

Tujuan dari perhitungan beban pendingin adalah untuk mengetahui besarnya beban kalor dari suatu ruangan yang dikondisikan dengan penyegar udara sehingga dapat ditentukan besarnya kapasitas mesin refrigerasi yang akan dipasang. Pada dasarnya ada dua cara perhitungan yaitu:

1. Perhitungan beban kalor puncak perhitungan ini untuk menetapkan besarnya instalasi.

2. Perhitungan beban kalor sesaat Perhitungan untuk mengetahui biaya operasi jangka pendek dan jangka panjang, serta untuk mengetahui karakteristik dinamik dari instalasi yang bersangkutan.

Dalam perhitungan beban kalor puncak terdapat dua macam versi perhitungan, yaitu:

1. Perhitungan beban dengan memakai anggapan kondisi ekstrim sering terjadi, dimana kalor yang masuk ke dalam ruangan disebut *heat gain*. Maksudnya radiasi matahari yang masuk ke ruangan melalui jendela akan memanaskan lantai atau benda ruangan lainnya. Hal ini berarti *heat gain* dari radiasi matahari lambat laun akan menjadi beban kalor. Sehingga utamanya akan menjadi lebih kecil dari yang diperkirakan semula.
2. Perhitungan dengan memakai anggapan beban kalor yang dikoreksi terhadap *heat gain*. Maksudnya adalah anggapan bahwa udara ruangan harus dapat dipertahankan konstan pada temperatur dan kelembaban tertentu selama 24 jam. Tetapi kenyataannya, kalor tersimpan di dalam lantai atau benda ruangan lainnya selama libur apabila dalam waktu tersebut penyegaran udara dihentikan. Maka kalor tersebut harus ditambahkan dalam perhitungan beban kalor tersebut. Kita sebaiknya lebih dicurahkan pada perhitungan, pada temperatur dan kelembaban tertentu selama 24 jam.

3.11.1 Faktor Aspek Fisik

Faktor aspek fisik terdiri dari, antara lain:

- a. Karakteristik gedung
 - Material yang digunakan
 - Bentuk dan ukuran gedung
 - Warna permukaan luar

- b. Orientasi gedung
 - Lokasi gedung
 - Pengaruh sinar matahari dan mata angin
 - Pengaruh bayangan lain
 - Pengaruh pantulan panas
- c. Penghuni
 - Jumlah, usia, jenis aktifitas, lamanya berada dalam gedung
- d. Fungsi gedung
 - Kantor, hotel, rumah sakit, pertokoan, pabrik, mall dan lain lain.
- e. Ventilasi
 - Kebutuhan udara per orang
 - Penghuni merokok atau tidak
- f. Peralatan
 - Jenis dan jumlah
- g. Tingkat pemakaian gedung
 - Terus menerus atau terputus

3.11.2 Faktor Jenis Beban

Faktor jenis beban terdiri dari:

- a. Beban kalor sensibel, Beban ini menyebabkan terjadinya perubahan temperatur yang dihasilkan oleh objek yang berada di dalam atau di luar ruangan yang masuk akibat perambatan kalor.
- b. Beban kalor laten, Beban ini menyebabkan terjadinya perubahan dari suatu material tanpa adanya perubahan temperatur. Beban ini terbawa oleh uap air sehingga naiknya kelembaban udara dalam ruangan.

3.11.3 Sumber Beban Pendingin

Sumber beban pendingin dapat digolongkan dalam tiga jenis, yaitu:

a. Beban dari luar gedung

Yaitu kalor yang berasal dari luar gedung yang masuk ke dalam ruangan yang akan dikondisikan. Yang termasuk dalam beban pendingin dari luar gedung adalah:

- Kondisi melalui luar, atap dan kaca
- Radiasi matahari

b. Beban dari dalam gedung

Yaitu kalor yang berasal dari dalam ruangan yang akan dikondisikan. Yang termasuk dalam beban dari dalam gedung adalah:

- Penghuni
- Penerangan
- Peralatan

c. Ventilasi dan infiltrasi

Yaitu kalor yang berasal dari luar yang masuk ke ruangan yang akan dikondisikan melalui celah pintu, jendela dan lubang-lubang keluaran lainnya.

3.11.4 Afikasi Sistem Pengkondisian Udara Pada Gedung

Dalam pemilihan sistem pengkondisian udara pada gedung hendaknya tetap mengacu pada kebutuhan yang diperlakukan sesuai dengan karakteristik dari jenis gedung itu sendiri agar didapatkan sistem yang cocok untuk digunakan oleh gedung tersebut. Selain itu karena tidak semua ruangan dipakai pada saat yang sama dalam perancangan sistem pengkondisian udara faktor penggunaan ruangan hendaknya dipertimbangkan dengan seksama sehingga dapat dipilih mesin pengkondisian udara dengan kapasitas yang tepat.

Gedung Kantor

Untuk penyegaran udara gedung kantor sebaiknya pembagian daerah dilakukan berdasarkan titik-titik kardinal, lama kegiatan, adanya ruang khusus seperti ruang pertemuan dan sebagainya.

1. Untuk gedung kecil dimana daerah parameternya dan daerah interior tidak dapat dibedakan lagi dan daerah parameter gedung besar menggunakan sistem saluran tunggal dengan volume udara yang variabel dengan induksi atau unit koil kipas udara
2. Untuk gedung besar interiornya menggunakan sistem saluran udara tunggal dengan volume udara konstan.

Hotel

1. Untuk ruang tamu sebaiknya menggunakan sistem penyegar udara dengan pengatur temperatur dan kelembaban, disini dapat digunakan sistem air udara dengan unit koil kipas udara atau unit induksi dimana volume udara primer merupakan jumlah yang diperlukan untuk memberikan ventilasi bagi kamar mandi dan closet.
2. Untuk ruang umum menggunakan saluran tunggal jenis sentral.
3. Untuk hotel yang khusus digunakan untuk keperluan pekerjaan sebaiknya menggunakan sistem saluran tunggal untuk ruang tamu dan pemanas pada setiap salurn cabang ke setiap ruang tamu atau dapat menggunakan unit koil kipas udara jenis air penuh, pendinginan ruanga yang terpasang di dinding, atau pendingin ruangan jenis pompa kalor.
4. Untuk rumah apartemen dan asrama sistem yng dipakai sama dengan yang dipakai di hotel dengan harus mempertimbangkan ventilasi dapur.

Rumah Sakit

Rumah sakit adalah jenis bangunan yang mempunyai banyak ruangan dengan berbagi fungsi yang berbeda dengan jenis bangunan yang lainnya dimana lingkungannya harus dijaga agar tetap bersih untuk mencegah penyebarannya dan perkembanganbiakan bakteri organik.

1. Unit bangsal digunakan sistem penyegar udara jenis air udara dengan unit koil kipas udara atau unit induksi. Disini udara primer dimasukkan ke ruangan untuk ventilasi dan bekerja dengan sistem udara luar penuh. Saringan udara harus dirawat terpisah atau sama lain.
2. Untuk ruang konsultasi digunakan sistem penyegar udara jenis air udara dengan pengaturan terpisah satu sama lain.
3. Untuk ruang tunggu digunakan sistem sentral atau sistem unit paket.
4. Untuk ruang operasi digunakan sistem saluran tunggal dengan penyegar udara yang terpisah. Sistem ini juga dipakai untuk ruang periksa dan radioskop dengan catatan dipakai sistem udara luar penuh dan udara yang masuk ke ruangan harus bebas debu.
5. Untuk ruang pengurus rumah sakit dan perawat dipakai sistem udara seperti pada gedung kantor.

Toko Serba Ada dan Pusat Pertokoan

Dahulu toko serba ada dan pusat pertokoan biasanya menggunakan sistem dengan beberapa unit paket (sesuai dengan beban kalor tiap lantainya yang berasal dari pengunjung dan pramuniaga) dimana udara dingin dimasukkan langsung ke dalam ruangan dari unit-uniti tersebut. Akan tetapi saat ini khususnya pusat pertokoan modern telh banyak yang menggunakan sistem saluran tunggal jenis sentral.

Gedung Bioskop, Gedung Pertemuan Umum, Mesjid, Gereja dan sebagainya

Untuk melayani gedung-gedung tersebut kita perlu melakukan operasi pemanasan ruangan sebelum ruangan tersebut digunakan, maka untuk jangka panjang kita tidak dapat memberikan pengaruh pemanasan itu kepada pengunjung.

Untuk ruangan penonton dan pengunjung sebaiknya menggunakan sistem saluran tunggal dimana udara dingin dimasukkan ke dalam ruangan melalui langit-langit atau dinding samping ruangan sehingga udara keluar melalui lantai di bawah tempat duduk dan melalui bagian samping panggung. Untuk gedung dengan langit-langit tinggi aliran udara panas. Pemanasan sebaiknya dilakukan dengan memasukkan udara panas melalui panel pada lantai. Karena tarikan udara dingin dapat terjadi dipanggung maka mesin penyegar udara yang dipergunakan harus dipasang dengan radiator pada dinding untuk mencegah jatuhnya udara dingin.

Industri

Pada industri sistem penyegar udara yang dipakai dibagi menjadi dua golongan, yaitu:

1. Penyegar udara untuk karyawan.
2. Penyegaran udara untuk industri (Proses produksi, penyimpanan, Lingkungan kerja mesin dan sebagainya).

Faktor terpenting dalam setiap sistem adalah faktor ekonomi, mutu produksi dan peningkatan produktifitas.

Tempat Tinggal

Sistem penyegaran udara yang dipakai disini tergantung pada tingkat kegiatan keluarga, pekerjaan, pendapatannya.

1. Untuk rumah mewah dan besar digunakan sistem penyegaran udara saluran tunggal sentral dengan sistem air

penuh dengan dengan koil kipas udara atau sistem unti paket.

2. Untuk rumah pada umumnya, biasanya menggunakan satu atau dua ruangan yang dilayani oleh pendingin ruangan.
3. Untuk apartemen digunakan sama seperti rumah biasa atau menggunakan sistem saluran tunggal sentral atau sistem unit koil kipas udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. dan Saito, H. 2002. *Penyegaran Udara*. Cetakan ke-6, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Arora, C. P. 2001. *Refrigeration and Air Conditioning*. Mc. Graw-Hill International Editions, Second Edition, 2001.
- Ashrae. 1997. *Fundamental Handbook*. USA.
- Hara, Suratman. 1994. *Refrigrasi dan Pengkondisian Udara*, Jakarta.
- Klemens A. Rahangmetan dkk. 2019. ANALISIS SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS MUSAMUS. *Jurnal MJEME*, Vol. 1, No. 2, April 2019 p-ISSN 2622-4593, e-ISSN 2622-4623.
- Marwan Efendi. Pengaruh kecepatan Udara pendingin kondensor terhadap koefisien Prestasi Air Conditioning. *Jurnal teknik Gelagar* vol 16. 2005
- Samnur. 2011. Perancangan Sistem Pengkondisian Udara (AC) pada Ruang Aula Teknol Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. *TEKNOLOGI VOLUME 13 NO. 4 APRIL 2011. Hlm. 227-236*.
- Sunarno. 2005. *Mekanikal Elektrikal*, Ed. 1, Andi, Yogyakarta. Hal. 162.
- www.google.com
- Yawara, Eka. Purnomo, Prajitno. 2002. Koefisien Perpindahan Kalor Kondensasi Petrozon Rossy-12 di Dalam Pipa Vertikal. *Prosiding Simposium Nasional I RAPI UMS Surakarta*, 21 Desember 2002, hal: 24-28.
- Yuriadi, Kusuma. *Sistem Mekanikal Gedung*, Jakarta, [s.n.]. Hal. 10.

BAB 4

KOMISIONING DAN PEMELIHARAAN SISTEM PENGKONDISIAN UDARA

Oleh Tungga Bhimadi Karyasa

4.1 Pendahuluan

Istilah yang lebih pas dan cocok untuk nama lain dari *Air Conditioning* atau AC, serta dapat sebagai rangkaian kata untuk melakukan komunikasi dengan orang lain, utamanya untuk komunikasi dengan engineering adalah, pergantian kata **pendinginan**. Kata pendinginan lebih pas dengan kata **pengkondisian**. Kata *pendinginan* dalam *Sistem Pendingin Udara*, lebih cenderung bermakna pada persoalan memperlakukan udara sebagai peran dalam proses pendinginan dengan atau tanpa udara, untuk bercampur zat lain. Sedang pengkondisian berarti udara tidak dicampur dengan gas lain, hanya dikondisikan.

Sistem Pengkondisian Udara (SPU) merupakan sistem peralatan yang memperlakukan udara dengan cara *mengkondisikan udara* untuk berperan sebagai pengatur level dengan harga numerik dari antara lain untuk: suhu, kelembaban, dan pemurnian zat adiktif. Zat adiktif disini sebagai pembantu dalam pengaturan udara untuk mencapai kondisi suhu dan kelembaban sesuai keinginan kita agar **nyaman**, dalam ruangan tertentu.

Kondisi nyaman perlu untuk mereka yang bekerja dan atau beristirahat dalam ruangan tertutup, misalnya dalam: gedung atau ruangan bangunan tinggi. Nyaman itu perlu diperoleh demi untuk mendapatkan kesehatan dan kesegaran, lebih-lebih pada negara tropis seperti NKRI. Kebanyakan daerah bisnis di NKRI adalah

dalam kondisi: kurang nyaman, udara panas, lingkungan atmosfer kotor, jalanan berdebu, angin bertiup tak tentu arah, dan udara ruangan tidak membawa kesegaran. Segala usaha menuju atmosfer bersih untuk NKRI akan sia-sia, karena ada angin muzon yang bertiup sepanjang tahun dan membawa kotoran atmosfer ke daerah sekitar katulistiwa.

SPU sebagai peralatan, tidak lepas dari kewajiban kita untuk *melakukan pemeliharaan*. Pemeliharaan sistem pengkondisian udara atau SPU harus dilakukan secara rutin dan terjadwal. Pemeliharaan dapat terjadi dari aksi perawatan dengan perlakuan pada peralatan SPU secara: mendadak, berbeda dari tindakan perawatan umumnya, atau terutama apabila terjadi kondisi peralatan tiba-tiba tidak bekerja. Pemeliharaan sistem itu sendiri, merupakan proses aksi pemeliharaan peralatan, dengan tujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dalam sistem berfungsi sebagaimana mestinya, dan dalam waktu siklus hidup yang seharusnya.

4(empat) pembagian lingkup Pemeliharaan peralatan umumnya dan pemeliharaan untuk Sistem Pengkondisian Udara atau SPU khususnya, ditinjau dari **tujuan kegiatan** yang dilakukan, yaitu:

a. *Pemeliharaan Korektif,*

- Yaitu perbaikan terhadap ***kerusakan*** peralatan utama SPU atau yang menyebabkan operasional SPU tidak dapat terjadi atau terganggu.
- Tujuan perbaikan adalah, menjadikan SPU beroperasi dengan sistem pengkondisian udara yang ***mendekati sempurna***.
- Semula alat ini rusak akibat dalam operasionalnya, ***tidak dapat menunjukkan*** angka kuantitatif misalnya suhu dan kelembaban pada ***level kondisi nyaman***.
- ***Contoh*** tidak nyaman adalah dimana alat tidak dapat mengkondisikan udara dengan suhu dan kelembaban

yang diminta.

- Kerusakan alat ini misalnya ***diakibatkan***: saluran kotor, kurang isi freon, dan atau kompresor rusak.

b. *Pemeliharaan Adaptif*,

- Yaitu perbaikan terhadap kerusakan *pendukung alat*, meskipun SPU beroperasi normal, tetapi kekhawatiran peralatan pendukung SPU kurang mendukung sehingga dimungkinkan apabila ada *catastrophy*, fungsi peralatan utama SPU terganggu.
- Tujuan perbaikan menjadikan alat kembali beroperasi dengan *pendukung alat kokoh-kuat* terhadap gangguan lingkungan sekitar misalnya benturan.
- Semula, kerusakan SPU ini akibat dalam operasionalnya memberikan penafsiran kondisi SPU *tidak dalam level kondisi aman*.
- *Contoh* tidak aman adalah, dimana SPU ditempatkan dengan *fitting* kurang kuat, sarangan kotor, serta bodi SPU *penyok*.
- Kondisi tidak aman menimbulkan kekhawatiran, misalnya : SPU terjatuh, mengalami benturan, pemeliharaan terjadwal dan cek rutin tidak dilakukan.

c. *Pemeliharaan Preventif*,

- Yaitu perbaikan terhadap kerusakan yang diprediksi akan terjadi. Kerusakan itu umumnya bersifat *rutin*. Jika kerusakan *muncul* saat pemeriksaan SPU, meskipun kerusakan belum terjadwal, dapat langsung diperbaiki. Hal ini sebagai deteksi awal kerusakan yang nanti mungkin terjadi.
- Tujuan perbaikan adalah untuk menjadikan peralatan memberikan kepercayaan akan kenyamanan terhadap pengguna SPU, dan menghindari kemungkinan kerusakan lain yang nantinya terjadi.
- Semula, SPU ini beroperasi baik dan tidak rusak. Tetapi

service berkala wajib dilakukan untuk mengembalikan pada **level kondisi meyakinkan**.

- *Contoh* untuk pengguna SPU yang merasa bahwa peralatan kurang meyakinkan, adalah karena dari pengguna timbul rasa was-was atau kekhawatiran bahwa: operasional SPU masih menjadikan ruangan dalam kondisi tidak menyehatkan, misalnya: cek kondisi refrigerant, dan rutin pembersihan sarangan udara.
- Hal ini *diakibatkan* misalnya: prediksi bakal ada kerusakan dapat dicegah, juga memberi informasi dan perbaikan rutin untuk SPU sejenis.

d. Pemeliharaan Perfektif,

- Yaitu perbaikan terhadap *kerusakan komponen* SPU yang tidak langsung mempengaruhi kinerja operasional, dalam hal ini hanya diinginkan untuk menjadikan alat lebih tampak *elegan*. Ketidaksempurnaan kinerja SPU yang jika terjadi, tetap harus diperbaiki.
- Tujuan perbaikan yaitu menjadikan peralatan kembali terpasang dengan gagah dan apik, lengkap dengan asesori yang menarik.
- Semula, SPU ini rusak akibat benturan dan goresan. Dalam operasionalnya, SPU tidak mengakibatkan fungsi operasional dari komponen utama alat terganggu, begitu juga **level kinerja** tidak terganggu atau berkurang.
- *Contoh* kerusakan yang memerlukan perbaikan perfektif adalah: *cashing* penyok, dudukan penyangga SPU berkarat. dan kondisi sekitar SPU kotor.
- Hal ini *diakibatkan* misalnya: keinginan pengguna untuk menampilkan kinerja SPU lebih dari standar, dan penampilan SPU menjadi lebih elegan.

Setiap selesai aktifitas terhadap SPU, dan sebelum SPU ditempatkan atau dioperasikan riil, **kegiatan komisioning** wajib dilakukan, terutama untuk SPU yang terpasang sebagai fasilitas umum atau pengguna umum. Kegiatan komisioning merupakan kegiatan ***pengujian wajib*** sesuai operasional pada peralatan yang sebenarnya. Komisioning dilakukan setelah peralatan selesai tuntas dilakukan pemeliharaan terhadap SPU tersebut.

Tujuan komisioning adalah untuk membuktikan bahwa: *struktur* bila bangunan sipil, atau *sistem* bila peralatan, atau *komponen* bila merupakan komponen tersendiri dari instalasi atau alat terpisah, memenuhi persyaratan dengan aman dan nyaman dioperasikan. Petugas atau engineer khusus yang menangani pelaksanaan komisioning, harus memiliki sertifikat yang berhubungan dengan keahlian mereka. Tes komisioning atau tes fungsi, adalah tahapan dimana engineer khusus ini menguji keseluruhan fungsi sistem.

Komisioning dan *pemeliharaan* SPU, merupakan *dua kegiatan terpisah* yang dilakukan oleh dua bengkel berbeda. Tetapi pekerja dan penanggung jawab 2(dua) kegiatan tersebut, harus berhubungan erat dalam kerja sama untuk saling bertukar informasi dan penyampaian level kondisi peralatan SPU dari pemilik dengan yang sebenarnya. Umumnya komisioning dilakukan oleh lembaga atau balai ketrampilan yang ditunjuk pemerintah.

SPU adalah peralatan yang berfungsi dengan melakukan perlakuan terhadap pendistribusian udara untuk mengatur: suhu, kelembaban, kebersihan, sebagai ***penyegar udara yang baik***.

Pendistribusian udara dilakukan secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang diperlukan dari kegiatan orang-orang dalam ruangan tersebut. *Syarat penyegar udara* yang baik adalah bila: dapat mengatur dan menyesuaikan suhu dalam ruangan, dapat menjaga dan mengatur kelembaban udara, dan melengkapi peralatan penukaran udara yang berfungsi dengan

baik. *Cara kerja* SPU adalah dengan menyerap panas dari udara ruangan, kemudian melepaskan panas tersebut keluar ruangan. Dengan demikian, temperatur dalam ruangan akan berangsur-angsur turun yang menghasilkan temperatur dingin sesuai yang diinginkan.

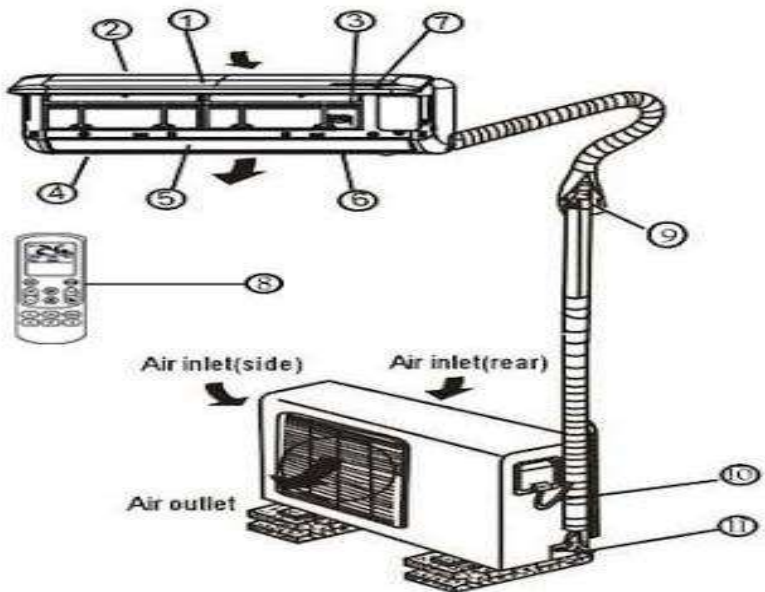
4.2 Komponen Sistem Pengkondisian Udara

Peralatan SPU atau AC yang terpasang, sesuai jenisnya terdiri dari: AC Windows (sekarang sudah tidak digunakan), AC Split rumahan, AC Mobil, dan AC Sentral. Komponen SPU bervariasi sesuai aplikasi atau pemasangan peralatan pada ruangan jenis tertentu, misalnya ruangan: rumah, mobil, gedung atau hotel, bengkel, dan ruangan pendingin untuk kebutuhan khusus.

Komponen SPU rumahan atau AC split ruangan, terdiri dari antara lain adalah sebagai berikut, (Abang, 2021):

1. Refrigerant atau Freon,
2. Pipa Kapiler, berfungsi untuk mengalirkan refrigerant dalam bentuk gas dan cair.
3. Kompresor, berfungsi untuk menghisap dan menekan uap refrigerant dari evaporator menjadi gas, dan gas refrigerant tersebut dialirkan ke seluruh sistem pendingin dengan cara terus menerus mengkompresi uap tersebut, dan mempertahankan suhu dan tekanan tinggi agar sirkulasi refrigerant terus berlangsung.
4. Kondensor, berfungsi sebagai penukar kalor/panas dengan cara mengubah wujud refrigerant dari gas menjadi cair, sehingga gas ini mengisap panas dari ruangan, dan karena peralatan kondensor merupakan jaringan pipa maka tempat pengembunan udara yang terhisap menjadi air embun untuk dialirkan ke dalam evaporator dibuang, kemudian kembali uap/cairan refrigerant dipompa kompresor.

5. Evaporator, berfungsi sebagai penyerap udara panas dari ruangan untuk disandingkan dengan gas refrigerant, sehingga permukaan pipa Evaporator basah, kemudian terjadi proses penguapan dimana gas refrigerant berubah cair dalam melakukan aktifitas pendinginan ruangan.
6. Blower atau Fan, dengan bentuk Blower adalah tabung bersirip sesuai fungsinya untuk sirkulasi udara ruangan
7. Spray,
8. Receiver/driyer,
9. Katup ekspansi,
10. Sensor indera panas.



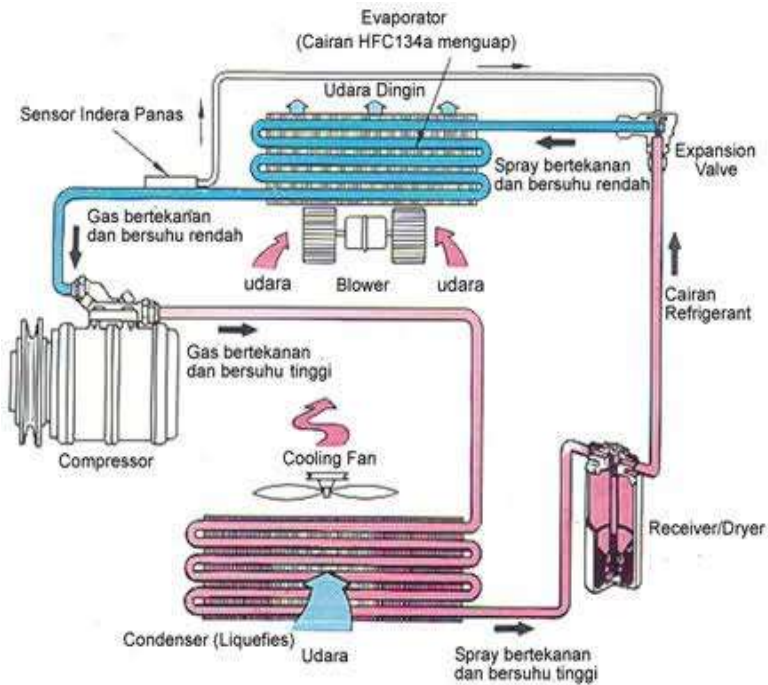
Gambar 4.1. Komponen Utama AC Split Rumahan

Nama komponen untuk AC Split Rumahan, sebagai berikut:

Unit Indoor:

1. Panel depan (*front panel*)

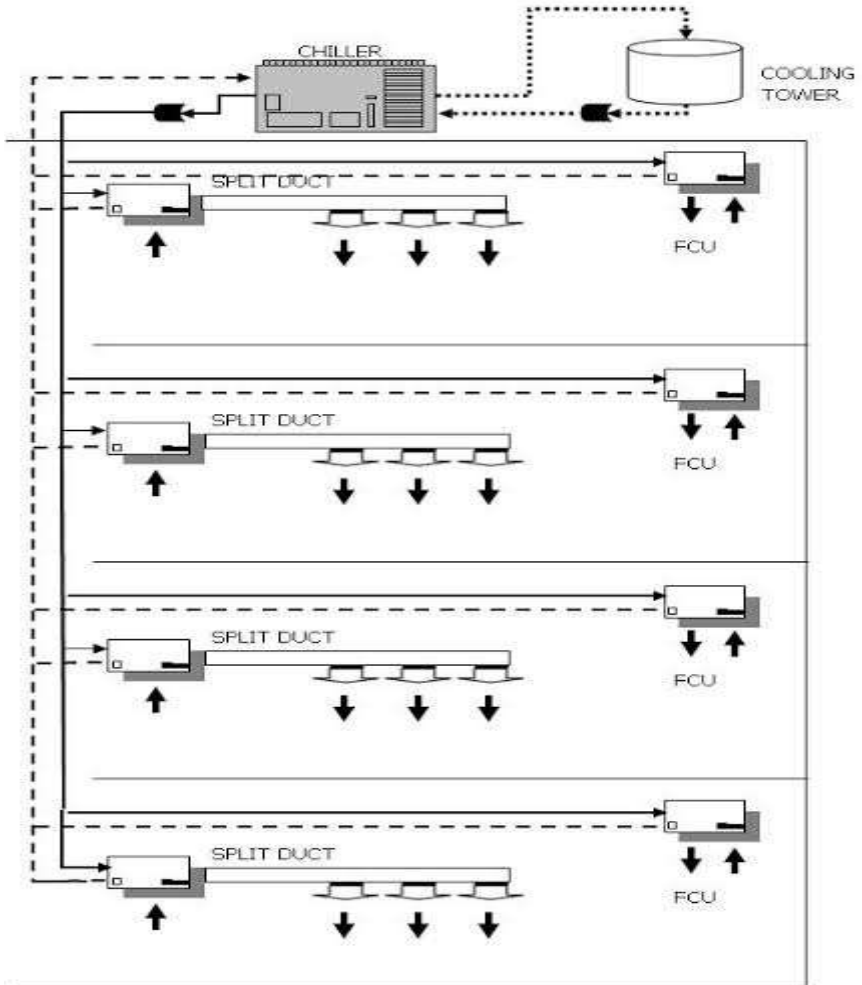
2. Inlet udara masuk (air inlet)
3. Filter udara (air filter)
4. Outlet udara keluar (air outlet)
5. Grill aliran udara datar (horizontal air *flow grille*)
6. Jalur aliran udara vertikal (Vertikal air flow louver)
7. Panel display (petunjuk off/on dan petunjuk suhu)
8. Remote Control Unit Outdoor
9. Pipa atau selang penghubung (*connecting pipe*)
10. Kabel penghubung
11. Katup switch pengatur kompresor untuk service.



Gambar 4.2. Komponen AC Mobil

Terdapat beberapa Komponen utama, harus ada pada setiap AC, disamping untuk jenis AC tertentu perlu ditambahkan

komponen lain. Dari gambar 4.1 untuk AC Split Rumahan, bandingkan dengan gambar 4.2 untuk komponen - komponen utama dan komponen lain. Gambar/denah untuk AC Sentral disampaikan berikut ini.



Gambar 4.3. Komponen AC Sentral

4.3 Tahapan Komisioning

Tahapan komisioning terbagi menjadi 3(tiga) yaitu tahapan: persiapan, pre-test komisioning, dan running komisioning, diuraikan sebagai berikut dibawah ini, (Ilmu Teknik, 2022).

Tahapan Persiapan Komisioning:

1. Pengumpulan data, yang diperlukan adalah: shopdrawing umumnya ukuran A3, diagram skematik, diagram kontrol, deskripsi pengerjaan, daftar komponen, spesifikasi, dan dokumen penunjang.
2. Pengajuan proposal pelaksanaan, yang diperlukan adalah informasi berupa: pertimbangan dan strategi komisioning, metode yang akan dijalankan, prosedur inspeksi, format check list, format laporan komisioning, daftar alat ukur yang digunakan, struktur organisasi pelaksanaan, daftar atau catatan, dan analisa mitigasi risiko saat akan dilaksanakan.
3. Penyusunan jadwal.
4. Pembentukan Tim, yang terdiri:wakil bengkel dimana komisioning dilaksanakan, engineering penanggung jawab, kontraktor, konsultan perencana, konsultan pengawas, konsultan lapangan, dan pemilik.

Dalam tahapan ini, perhitungan ulang beban kerja sesuai kebutuhan AC, dan berdasar luas ruangan, perlu dilakukan.

Setelah tahapan persiapan selesai tuntas dilakukan, berikutnya adalah **Tahapan Pre Tes Komisioning**, atau Tes Nyala, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan dipasang, diperiksa kelengkapan unit terpasang, apakah sesuai dengan jumlah dan tipe yang disepakati.
2. Melakukan pemeriksaan sesuai instalasi terpasang, apakah sudah sesuai shopdrawing dan melakukan finalisasi kontrak kerja yang disepakati.
3. Melakukan pemeriksaan kelengkapan pendukung bengkel

- komisioning, misalnya: *support, hanger, mounting, ducting, grill*, dalam hal: kerapian, kekuatan, posisi, kelancaran operasional.
4. Melakukan pemeriksaan terminasi kabel, baik dari usulan sesuai modul maupun kabel power yang masuk.
 5. Melakukan pemeriksaan kondisi sekitar, atau daerah uji komisioning, dalam hal misalnya: kebersihan, ventilasi untuk sirkulasi, SPU dari ruangan pendukung, dan kenyamanan operator terutama terhadap gangguan kebisingan.

Sebelum tes ini dilakukan, perlu periksa ulang untuk refrigerant atau jenis freon yang digunakan. Hal ini sebagai pemahaman karakteristik refrigerant saat bersirkulasi pada SPU. Setelah tahapan *Pre Tes Komisioning* selesai dilakukan, berikutnya adalah ***Tahapan Running Test***, sebagai berikut:

1. Melakukan simulasi penyalaan, mulai dari MCB pada panel kontrol, hingga ke sistem control dengan pengendali remote. Tujuan langkah ini adalah untuk menguji sistem kontrol dan sistem pengaman yang disediakan bengkel, untuk dapat dijamin berfungsi baik.
2. Menyalakan SPU sebagai yang akan diuji, dan ditunggu selama sekitar 10(sepuluh) menit, untuk meyakinkan sirkulasi refrigerant sudah stabil berfungsi.
3. Memastikan sistem sudah bekerja normal, baik di area indoor maupun outdoor, dengan mengamati kondisi, misalnya:
 - a. Tidak ada percikan api saat starting dan operasional.
 - b. Pelumasan tidak bocor.
 - c. Tidak terjadi noise atau vibrasi yang berlebihan.
4. Setiap saat dengan selang waktu teratur, dilakukan pemeriksaan air kondensat untuk menjamin sirkulasi tetap lancar.

5. Tahapan berikutnya adalah pemeriksaan tegangan listrik yang digunakan atau yang masuk SPU, harus sesuai dengan *name plate* tegangan yang disebutkan alat SPU yang diujikan. Batas toleransi tegangan umumnya antara 200-240 Volt.
6. Mengukur arus listrik masuk peralatan uji, dan memastikan sesuai yang tercantum pada *name plate*.
7. Pengecekan tekanan refrigerant, dan pastikan sesuai dengan tekanan kerja.
8. Pastikan juga, suhu ruangan sesuai dengan yang sudah ditunjukkan pada thermostat. Toleransi diberikan sesuai peraturan, misalnya dengan batas toleransi 2(dua) derajat Celcius untuk SPU rumahan.
9. Diukur juga suhu kondensor yang harus lebih panas dari suhu udara luar, dengan perbedaan umumnya antara 10-15 derajat Celsius.
10. Diukur juga, suhu pada pipa hisap. Hasilnya untuk mendapatkan tekanan dari tabel saturasi, apakah harganya masih memenuhi. Kemudian diukur juga suhu pada super heat SPU.

Tahapan komisioning SPU dikatakan selesai tuntas apabila semua aspek yang disebutkan diatas sudah dilaksanakan dan SPU menunjukkan kinerja sesuai persyaratan. Apabila ada yang belum terpenuhi, maka SPU harus direparasi. Setelah proses perbaikan selesai, test komisioning harus diulang lagi.

4.4 Regulasi Dasar Pelaksanaan Komisioning

Regulasi ini mengikuti aturan Standar Nasional Indonesia atau SNI. Tetapi yang disampaikan ini adalah regulasi yang sudah disederhanakan, sesuai (Peraturan Gubernur DKI 38/2012) ***untuk Desain SPU***, antara lain sebagai berikut:

- a. SPU yang dihuni manusia, harus dirancang mempertahankan suhu minimum 25 derajat Celsius, kelembaban relatif 60 persen, dengan toleransi 10(sepuluh) persen,
- b. Semua SPU wajib memiliki efisiensi minimum kondisi beban penuh sesuai tabel dalam SNI 6390-2011, misalnya AC split <65.000 BTU/jam, Eff minimum COP 2.70 dan KW/TR 1.303
- c. SPU terpusat atau AC sentral, harus menggunakan Sistem Variabel Air Volume atau VAV, yaitu sistem yang dapat memvariasikan jumlah kebutuhan udara untuk pendinginan sesuai yang diinginkan, pada setiap ruangan tertutup atau zona tertutup untuk secara terkontrol dan independen, sehingga hemat energi dengan tetap menjaga kelembaban setiap ruangan.
- d. Pada SPU harus sudah terpasang Variable Speed Drive (VSD) atau Penggerak Kecepatan Variabel, untuk operasional loop utama pompa air pendingin dan kipas angin pendingin.
- e. SPU yang dikomisioning harus menerapkan insulasi pipa air pendingin dan pipa refrigerant, sesuai SNI-0306572
- f. SPU tidak boleh menggunakan freon jenis CFC atau Chlorofluorocarbons, karena senyawa ini dapat merusak ozon. CFC sudah lama harus ditinggalkan untuk digunakan.
- g. Khusus SPU AC-sentral, tingkat ventilasi minimum harus sesuai dengan merujuk SNI 03-6572-2001 pasal 7.3, yaitu pada setiap 18 meter kubik ruangan harus terjadi pertukaran udara antara lain, untuk:
 1. Perkantoran, restoran, toko, mall, swalayan, pabrik, tempat parkir dan bengkel, masing-masing setiap 6 jam.
 2. Lobi, koridor, tangga, masing-masing setiap 4 jam,
 3. Ruangan kelas, bioskop, masing-masing setiap 8 jam.

- h. Auditorium, ruang konferensi, parkir kendaraan tertutup, dan ruangan untuk setiap 3(tiga) meter kubik yang dihuni lebih dari satu orang, wajib dilengkapi dengan alat Pemantau Karbon Dioksida atau PKD, dan diupayakan saat SPU operasional, dengan menghasilkan konsentrasi CO₂ kurang dari 1000 ppm, sesuai regulasi ASHRAE 62.1-1989.

Perencanaan Sistem Ventilasi AC-Sentral, memperhatikan, (Peraturan Gubernur DKI 38/2012) sebagai berikut:

- a. Menghindari belokan yang tidak perlu.
- b. Belokan dibuat tidak siku.
- c. Memiliki *sepatu* di sambungan cabang untuk *tee*.
- d. Hindari pengurangan luas penampang ducting.
- e. Meminimumkan panjang saluran
- f. Meminimalkan panjang *saluran fleksibel*.
- g. Menggunakan kondisi inlet dan outlet prima untuk kedua sisi kipas angin.
- h. Kinerja peralatan (seperti: filter, attenuator, dan heat exchangers), harus peka terhadap perubahan tekanan rendah.
- i. Menggunakan jumlah sambungan saluran pipa dan sambungan fitting ke dan dari peralatan sesedikit mungkin.
- j. Kondisi sambungan dengan saluran dipastikan tersegel sebelum komisioning dilakukan, untuk meminimalkan kebocoran udara.
- k. Menggunakan saluran bundar, bila ruangan dan biaya awal memungkinkan, karena saluran bundar menghasilkan friction loss paling rendah.
- l. Bila terpaksa menggunakan ventilasi dengan penampang saluran persegi, diupayakan menggunakan penampang bujur sangkar atau penampang dengan rasio sedekat mungkin dengan harga panjang dibanding lebar 1:1.

Apabila regulasi ini dijalankan, pengalaman akan memberikan penghematan energi, sehingga dapat mengurangi biaya listrik, untuk operasional kipas angin hingga 70 persen.

Regulasi lain untuk AC Sentral yang harus dipenuhi, sebelum peralatan dilakukan komisioning (Peraturan Gubernur DKI 38/2012), antara lain adalah:

- a. Desain dan operasional Menara Pendingin (Cooling Tower).
- b. Desain pengganti dari *ventilasi mekanik* sebanyak mungkin dengan *ventilasi alami*.
- c. Desain pemulihan energi dengan pemilihan jenis penukar panas yang sesuai regulasi yang disarankan, terutama dalam pemilihan teknologi terkini, misalnya dengan: kumparan gulung penghematan energy 55% sampai 65%, enthalpy penghematan energy wheel 85%, pipa panas penghematan energy 45% sampai 65%, dan pelat penukar panas penghematan energy 80%.
- d. Desain dan pemilihan kipas angin pada langit-langit harus sesuai persyaratan, dari panjang dan lebar ruangan tertentu mengikuti SNI.

4.5 Pemeriksaan Komponen Saat Komisioning

Apabila operasional SPU sudah dijalankan sesuai prosedur komisioning dan pantauan harga-harga sesuai regulasi, komisioning untuk agar SPU melakukan penghematan energi pada: kipas angin, desain ventilasi dan sistem pemipaan, syarat penggunaan freon, yang berdasar SNI, **untuk SPU sentral**, sudah dilakukan. SPU menjadi siap untuk pemeriksaan komponen-komponen SPU sesuai komisioning yang mengikuti regulasi aturan Standar Nasional Indonesia, dengan (Agus Maulana 2009), yaitu:

- a. Pemeriksaan komponen utama untuk:
 - Katup ekspansi, diperiksa pada: kekokohanudukan, posisi sensor, *bulb* katup ekspansi, dan pipa join.

- Evapolator, diperiksa pada: kelurusan dan kesejajaran sirip, pipa-pipa dan sirip tetap bersih dan tidak ada karat, motor blower, dan kondisi sekitar blower untuk tetap bersih.
 - Kelancaran saluran pembuangan air.
 - Insulator dan termistor, diperiksa pada: kondisi saat operasional untuk tetap baik.
- b. Pemeriksaan Sistem Kelistrikan ditujukan pada:
- Desain panel, diperiksa untuk: fungsi dan kesesuaian rangkaian pendistribusian dari arus dan voltase listrik.
 - Begitu juga pemeriksaan untuk : MCB. Relai. Switch, dan sambungan serta kondisi kabel.
- c. Pemeriksaan Sistem Pemipaan.
- Kondisi pipa dalam hal: sambungan, join, hasil pengelasan, insulation pipa, dudukan pipa, dan *service port*, cek kebocoran, dan cek yang korosif termasuk tempat-tempat yang diprediksi nantinya akan mengalami korosif.
- d. Pemeriksaan harga-harga tekanan Sistem Refrigerant, sesuai pencapaian SPU untuk saat: tekanan tinggi, tekanan rendah, dan tekanan cairan freon.
- e. Pemeriksaan Sistem Pompa dalam hal: tekanan dan temperatur air keluar-masuk saat penggunaan air sebagai secondary refrigerant.
- f. Pemeriksaan Sistem ***Air Heater Unit*** atau AHU, meliputi: pipa dan fin (sirip) koil unit, dudukan dan operasional motor blower, belt blower, pully motor, kipas dan rangkaian induksi blower, dan saluran pembuangan air.

- g. Pemeriksaan Unit Mesin Air Conditioning dengan:
- Kegiatan pemeriksaan dilakukan dengan jadwal mingguan (service kecil) dan pemeliharaan bulanan (service besar).
 - Pemeriksaan berkala dilakukan **menyeluruh** sesuai yang sudah dinyatakan sebelumnya. Hal ini mengikuti regulasi dari aturan terkini dalam persyaratan untuk mendapatkan **Sertifikat Laik Fungsi** (SLF). SLF wajib dimiliki, dan yang didasarkan kepada lamanya unit SPU beroperasi dalam satuan waktu.
 - Tujuan utama pemberian SLF adalah untuk menjamin SPU dalam kondisi dengan peningkatan life-time dimasa pakai, mengontrol konsumsi listrik, menghindari kerusakan yang lebih parah, memaksimalkan kenyamanan operasional SPU, menjaga kesehatan penghuni ruangan, dan menjadikan penghuni ruangan merasa nyaman.
- h. Kegiatan Service Kecil, dengan melakukan pemeriksaan: untuk AC sentral misalnya, dilakukan secara periodik umumnya 2 sampai dengan 3 minggu sekali, dengan kegiatan antara lain: pembersihan filter, pembersihan body, pembersihan saluran pembuangan air, menjamin hubungan kabel dengan power listrik aman, pemeriksaan temperatur udara dingin, dan pengujian kekuatan dudukan unit indoor.
- i. Kegiatan Service Besar, dengan melakukan:
- Secara periodik untuk AC sentral umumnya dilakukan selama 3(tiga) sampai 4(empat) bulan sekali.
 - Pengecekan awal dan bila rusak diperbaiki, dalam hal: suhu pendinginan, tekanan refrigerant, running amper dari kompresor, fungsi remote control, putaran fan outdoor unit, putaran blower indoor, dan melakukan

pencatatan pada *log sheet* sesuai form standar yang tersedia.

- Jika diperlukan, dilakukan pencucian komponen-komponen SPU pada unit indoor dan unit outdoor.
- Pembersihan saluran pembuangan air pada unit indoor.
- Cek ulang setelah finishing.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor-28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung pada pasal-7 dan pasal-8 menjelaskan bahwa, setelah gedung mengalami operasional perdana dengan berfungsinya, maka semua peralatan isi dari bangunan gedung setiap 5(lima) tahun sekali bangunan gedung dan peralatan isi didalamnya tersebut harus mempunyai **Sertifikat laik Fungsi** atau SLF. SPU merupakan salah satu bagian dari peralatan bangunan gedung, sehingga, komisioning merupakan solusi untuk menjamin peralatan dalam memenuhi kriteria mendapatkan SLF.

Pertanyaan untuk pemahaman.

1. a. Sebutkan 4(empat) lingkup pemeliharaan peralatan umumnya.
b. Buat tabel yang menjelaskan 5(lima) perbedaan lingkup tersebut, untuk 4 kajian pemeliharaan peralatan ini.
2. Pelaksanaan komisioning dan pemeliharaan SPU sebagai 2(dua) kegiatan terpisah. Meskipun demikian sebutkan 4(empat) hal yang merupakan persamaan dan 4(empat) hal yang sebagai perbedaan diantara keduanya.
3. a. Sebutkan komponen apa saja, dan jelaskan fungsi komponen-komponen tersebut singkat, yang terdapat pada 3(tiga) contoh SPU, yaitu: AC rumahan, AC mobil, dan AC Sentral.
b. Sebutkan juga komponen-komponen yang membedakan pada 3(tiga) jenis AC tersebut.

4. Sebutkan 3(tiga) tahapan komisioning, dan jelaskan prosedur masing-masing tahapan secara singkat.
5. Penelusuran dari rujukan dengan google, sebutkan efisiensi minimum yang lain, sesuai SNI 6.390-2011.
6. Penelusuran rujukan dari google, jelaskan fungsi dan keserasian rangkaian untuk: MCB, Relay, Switch, dan sambungan kabel.
7. Jelaskan 3(tiga) peran komisioning, khusus peralatan SPU, sebagai salah satu penentu regulasi SLF.

DAFTAR PUSTAKA

- Benerin, A. 2021. Komponen AC Rumahan dan Fungsinya. Ruko City Square Business Park. PT Panduan Aditian Teknologi. Jakarta Barat. Indonesia.
- Maulana, A. 2009. Komisioning dan Pemeliharaan Sistem Pendingin Udara. Bandung. Penerbit PT Mitra Lestari Bumi Abadi.
- Peraturan Gubernur. 2012. Sistem Pengkondisian Udara dan Ventilasi Volume-2. Dinas Penataan Kota DKI (Pergub 38/2012). Jakarta Barat, Indonesia
- Teknik, I. 2022. Test Commisioning AC yang Benar dan Lengkap, 14 Agustus. Penerbit WordPress Indonesia.

BAB 5

PSIKOMETRIK DAN SIFAT-SIFATNYA

Oleh Denni Kartika sari

5.1 Pendahuluan

Dalam proses pendinginan udara ada beberapa proses yang dilalui diantaranya: proses kontrol temperatur (pendinginan dan pemanasan) dan kontrol kelembaban (humidifikasi dan dehumidifikasi), Pengontrolan udara dapat dilakukan dengan melewati udara kedalam pendingin atau koil pemanas. Kontrol kelembaban dalam ruang yang dikondisikan dengan mengontrol jumlah uap air di dalam ruangan

Psikometrik merupakan pengkajian terkait sifat sifat fisikal campuran udara kering dan uap air atau kelembaban. Cakupan lain dengan mempelajari perilaku campuran udara kering dan uap air pada berbagai kondisi.

Analisis psikometrik dapat dimanfaatkan untuk menentukan laju aliran volume udara yang akan didorong ke dalam sistem saluran dan ukuran komponen sistem utama.

5.2 udara kering dan uap air

Udara yang ada di dalam atmosfer terdiri dari komponen utama yaitu udara kering, uap air dan polutan. Udara kering murni terdiri dari campuran dari sejumlah gas dengan komponen utamanya adalah nitrogen dan oksigen namun terdapat pula komponen gas lainnya diantaranya karbon dioksida, hidrogen, argon, neon, helium, dll. Udara kering ada ketika semua kontaminan dan uap air telah hilang dari udara atmosfer. Berdasarkan volumenya, komposisi udara kering adalah 78 persen nitrogen, 21 persen oksigen, dan 1 persen gas lainnya.

Sifat- sifat udara memiliki pengaruh terhadap pengkondisian udara. uap air dapat berbentuk gas atau cair bergantung kepada suhu dan tekanan barometer tertentu. Uap air pada udara akan mempengaruhi kelembabapan udara. Perubahan kandungan uap air diudara adalah pengkondisian udara. Kelembaban merupakan campuran antara udara kering dan uap air.

Hukum boyle

Menurut hukum Boyle, tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya jika suhu gas dijaga konstan dalam wadah tertutup. Pada gas apada keadaan seimbang pada suhu tetap maka persamaannya adalah :

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad \dots\dots\dots 1$$

Hukum gay lusac

Hukum Gay-Lussac menyatakan bahwa jika gas dijaga konstan dalam ruang tertutup, tekanan gas sebanding dengan suhunya. maka persamaan pada gas pada kondisi setimbang pada volume tetap adalah:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \dots\dots\dots 2$$

Hukum Charles gay lussac

Hukum ini menyatakan bahwa volume gas dalam ruang tertutup dijaga dalam kondisi konstan dan tekanan gas sebanding dengan suhunya. Untuk gas dalam kesetimbangan pada tekanan konstan, rumusnya adalah:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \dots\dots\dots 3$$

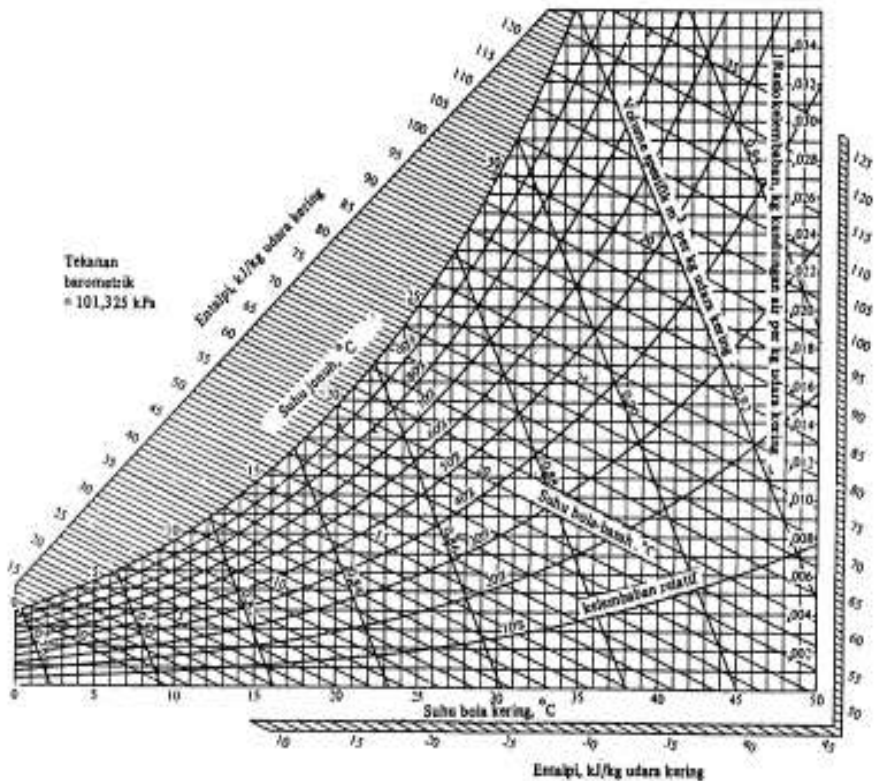
5.3 Grafik psikometrik

Grafik psikometrik digunakan untuk memvisualisasikan hubungan timbal balik antara udara kering, kelembaban, dan energi. Grafik *psychrometric* dapat menggambarkan masalah seperti mengapa udara panas dapat menahan lebih banyak uap air,

dan sebaliknya, bagaimana mekanisme udara lembab menjadi dingin akan menghasilkan kondensasi. Grafik juga dapat digunakan untuk memperkirakan kondensasi uap air. Grafik *psychrometric* menjelaskan bahwa dengan menaikkan suhu permukaan atau dengan menurunkan kadar air udara atau menggunakan beberapa kombinasi keduanya dapat menghindari kondensasi permukaan. Grafik *psychrometric* juga membantu dalam menghitung dan menganalisis kerja dan transfer energi dari berbagai proses pengkondisian udara.(Zheng, 2017).

Grafik *psychrometric* dibangun di atas dua konsep sederhana.

1. Udara dalam ruangan adalah campuran udara kering dan uap air.
2. Ada sejumlah energi tertentu dalam campuran pada suhu dan tekanan tertentu. Montgomery, R., & McDowall, R. (2008)



Gambar 5.1. Grafik psikometri

Istilah istilah yang dikenal dalam psikometri

a. Kelembaban relatif

Selain kelembaban, kita juga mengenal istilah kelembaban relatif. Ini didefinisikan sebagai rasio uap air yang terdapat dalam udara pada suhu tertentu. dapat juga diartikan juga kemampuan udara untuk menampung uap air

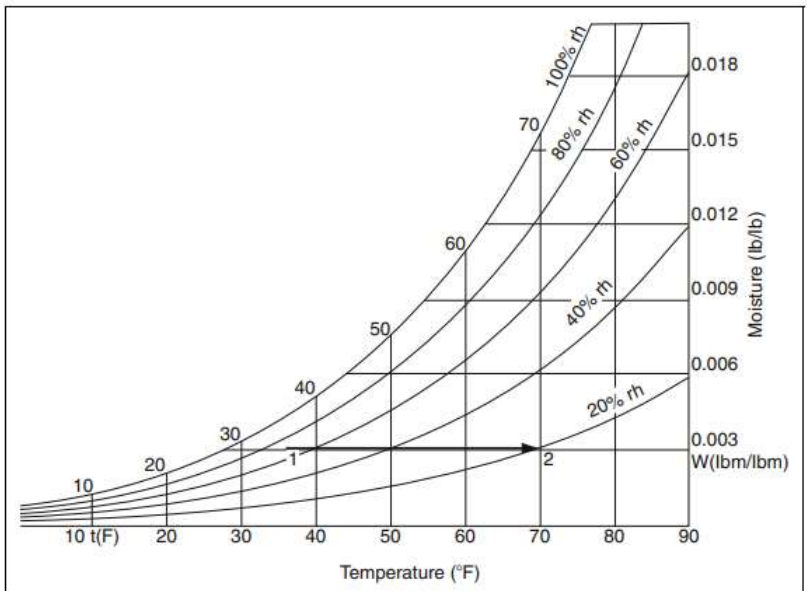
Kelembaban relatif ϕ

ϕ = tekanan parsial dari uap air / tekanan saturasi dari uap air murni pada temperature yang sama

$$\phi = \frac{P_v}{P_{Sat}}$$

.....4

Garis kelembaban relatif konstan diwakili oleh garis lengkung yang membentang dari kiri bawah dan menyapu ke kanan atas grafik



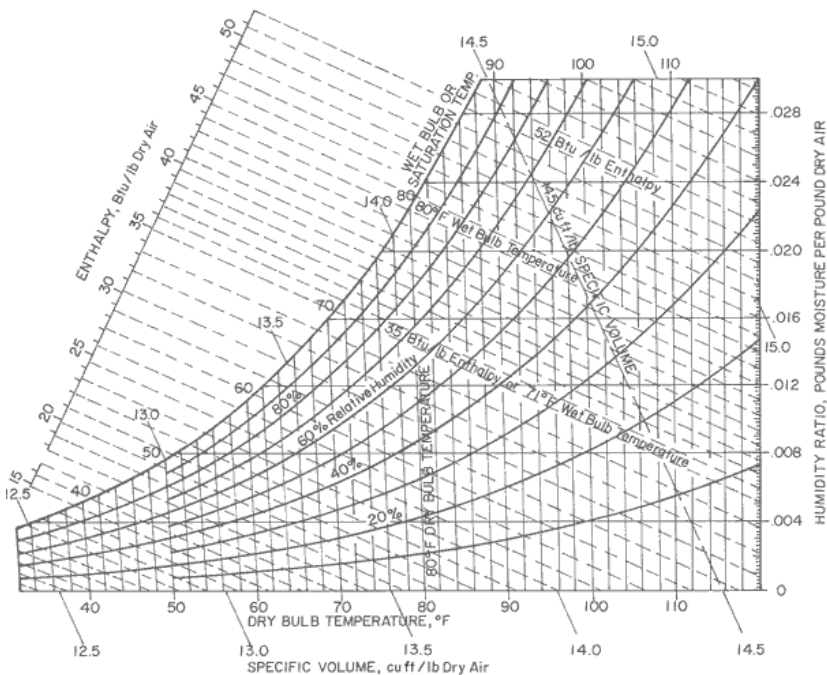
Gambar 5.2. Diagram Grafik Psikrometrik – Perubahan Kelembaban Relatif dengan Perubahan Suhu(Montgomery and McDowall, 2008)

Kelembaban Relatif tidak boleh disamakan dengan Kelembaban Spesifik dan Kelembaban Absolut, istilah “Kelembaban Spesifik” adalah digunakan untuk merujuk pada berat uap air dalam pon atau butir yang terkandung di udara pada kondisi tertentu, untuk setiap pon udara kering pada

kondisi yang sama. Istilah "Kelembaban Mutlak" mengacu pada pon atau butir uap air yang terkandung dalam satu kaki kubik campuran udara kering dan uap air pada kondisi tertentu.

b. Kelembaban absolut

Kelembaban mutlak adalah kandungan uap udara, dinyatakan dalam gram atau lb uap air per lb udara kering. Ini juga dikenal sebagai kadar air atau rasio kelembaban. Rasio kelembaban diwakili pada grafik oleh garis-garis yang berjalan secara horizontal dan nilainya berada di sisi kanan (sumbu Y) grafik yang meningkat dari bawah ke atas



Gambar 5.3. Rasio kelembaban(Robison, 1985)

c. Kelembaban spesifik

Kelembaban spesifik udara lembab adalah (tanpa dimensi) rasio massa uap air mv dengan massa udara lembab $ma + mv$ dan rasio ini mewakili pengenceran uap di atmosfer (Camuffo, 2014).

$$s = \frac{mv}{ma + mv} (gg^{-1}) \dots\dots\dots 5$$

d. Temperatur kering atau suhu bola kering (db). Suhu bola kering merupakan suhu kesetimbangan campuran yang ditunjukkan oleh thermometer (Tdb). Udara kering terdiri dari sejumlah gas tetapi terutama oksigen dan nitrogen. Penting untuk mengetahui massa molekul udara kering, dan ini dihitung dari proporsi masing-masing gas dalam campuran (Legg, 2017).

e. Temperatur basah suhu bola basah (wb) merupakan temperatur udara luar yang diukur dengan menggunakan thermometer biasa berselubung kain basah pada ujungnya. Kondisi dimana sensor panas (bulb) thermometer dikondisikan. menjadi basah, dengan ditutup oleh kain basaha maka ukuran suhu adalah suhu bola basah. (Legg, 2017) . Suhu bola basah (WBT) berhubungan dengan kelembaban relatif dengan suhu bola kering. Temperatur bola basah pada grafik *psychrometric* diwakili oleh garis yang miring secara diagonal dari kanan atas grafik (sepanjang garis saturasi) ke kiri bawah grafik

f. Tetes uap air atau *grains of moisture* digunakan untuk mengukur jumlah tetes air didudara istilah ini juga digunakan dalam perhitungan psikometrik dikarenakan angka yang lebih besar ditangani lebih mudah daripada enam tempat desimal

yang diperlukan untuk mengevaluasi pon kelembaban per pon udara kering.

- g. Temperatur titik pengembunan (dp) Suhu titik embun (dp) adalah keadaan di mana suhu udara berubah menjadi titik embun pada tekanan atmosfer dan uap air di udara mulai mengembun. Suhu titik embun dapat pula didefinisikan sebagai suhu udara jenuh yang memiliki tekanan uap yang sama dengan kondisi udara yang ditinjau (Legg, 2017). Pada titik embun, suhu bola kering dan suhu bola basah sama persis. Suhu titik embun secara langsung berhubungan dengan kuantitas aktual kelembaban di udara dan tidak banyak berubah sepanjang hari kecuali jika cuaca bergerak melalui suatu area dan menambah atau menghilangkan sejumlah besar kelembaban.
- h. Specific volume (SpV)
Volume spesifik merupakan volume yang ditempati oleh udara dengan berat tertentu pada kondisi tertentu dapat didefinisikan juga sebagai volume spesifik – adalah volume yang ditempati oleh satu unit berat udara kering.
Volume spesifik udara juga dipengaruhi oleh tingkat kelembaban dan tekanan atmosfer secara keseluruhan.
- i. Tekanan Uap
Uap air adalah salah satu dari beberapa konstituen gas udara, yang utama lainnya adalah nitrogen, oksigen dan karbon dioksida. tekanan uap terhubung secara linier dengan kelembaban absolut dan diwakili pada Grafik Psikrometrik oleh garis-garis yang berjalan horizontal dan nilai-nilai berada di sisi paling kanan grafik meningkat dari bawah ke atas.
- j. Tekanan uap jenuh
Tekanan karena keadaan uap jenuh disebut tekanan uap jenuh. Tingkat tekanan uap jenuh dipengaruhi oleh jumlah materi dan suhu

k. Uap Superheated

Merupakan suatu kondisi fluida yang memiliki temperatur kerja lebih dari nilai temperatur *uap*. Atau suatu kondisi dimana ada kondensat dalam pipa uap.

- l. Derajat saturasi atau rasio saturasi itu didefinisikan sebagai rasio kelembaban spesifik udara aktual (ω) dengan kelembaban spesifik udara jenuh (ω_g) pada suhu yang sama.

$$\mu = \frac{\omega}{\omega_g} = \frac{0.622 \frac{P_v}{P - P_v}}{0.622 \frac{P_g}{P - P_g}} \dots\dots\dots 6$$

$$\mu = \frac{P_v}{P_g} \left[\frac{1 - \frac{P_g}{P}}{1 - \frac{P_g}{P}} \right] \dots\dots\dots 7$$

$$\mu = \bigoplus \left[\frac{1 - \frac{P_g}{P}}{1 - \frac{P_g}{P}} \right] \dots\dots\dots 8$$

- m. Campuran udara tak jenuh (Unsaturated air mixture) adalah campuran udara kering dan uap air yang sangat panas. Tekanan parsial uap lebih kecil dari tekanan saturasi air pada suhu campuran.

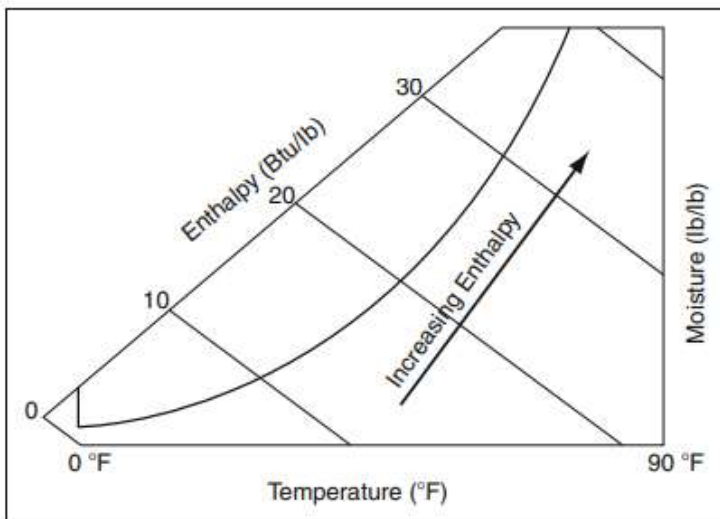
a. Jika suhu bola basah lebih rendah dari bola kering, campuran udara-uap adalah tidak jenuh

b. Jika suhu bola basah sama dengan bola kering, maka uap udaranya jenuh

- n. Campuran udara super jenuh (Super saturated air mixture): merupakan campuran udara kering dan uap air dimana

tekanan parsial uap air lebih besar dari tekanan jenuh air pada temperatur campuran

- o. Entalpi adalah panas total campuran udara dan uap air di atas nol (Btu/lb udara). Nilai entalpi diambil sepanjang skala di atas garis saturasi. Garis entalpi konstan berjalan secara diagonal ke bawah dari kiri ke kanan melintasi grafik mengikuti hampir persis garis suhu bola basah konstan. Entalpi adalah ukuran energi panas di udara karena panas sensibel atau panas laten. Entalpi berguna dalam aplikasi pemanasan dan pendinginan udara.



Gambar 5.4. Gambar grafik Psychrometrik – entalpi (Montgomery and McDowall, 2008)

- p. Entalpi udara kering (H_a) adalah kandungan panas udara kering diukur secara relatif (dibandingkan dengan

kondisireferensi tertentu umumnya pada P atmosfer dan suhu 0°C .

q. Entalpi spesifik

Entalpi spesifik udara lembab adalah sifat terhitung yang menggabungkan panas sensibel dan panas laten dari 1 kg udara kering ditambah uap air yang terkait, relatif terhadap datum pada 0°C . Atau dapat di definisikan sebagai sifat termal merupakan jumlah kalor di udara dan penjumlahan entalpi udara kering dengan entalpi uap air

DAFTAR PUSTAKA

- Camuffo, D. 2014. 'Theoretical Grounds for Humidity', *Microclimate for Cultural Heritage*, pp. 49–76. doi: 10.1016/b978-0-444-63296-8.00002-0.
- Legg, R. 2017. 'Properties of Humid Air', *Air Conditioning System Design*, pp. 1–28. doi: 10.1016/b978-0-08-101123-2.00001-7.
- Montgomery, R. and McDowall, R. 2008. 'Sensors and Auxiliary Devices', *Fundamentals of HVAC Control Systems*, pp. 106–159. doi: 10.1016/b978-0-08-055233-0.00004-2.
- Robison, H. I. 1985. *Passive and low- energy research and practices - de humidification., Passive and low energy ecotechniques. Proc. 3rd PLEA conference, Mexico City, 1984.* Pergamon Press Ltd. doi: 10.1016/b978-0-08-031644-4.50011-4.
- Zheng, H. 2017. *Fundamental Relationships of Heat and Mass Transfer in Solar Seawater Desalination Systems, Solar Energy Desalination Technology.* doi: 10.1016/b978-0-12-805411-6.00003-8.
- Camuffo, D. 2014. 'Theoretical Grounds for Humidity', *Microclimate for Cultural Heritage*, pp. 49–76. doi: 10.1016/b978-0-444-63296-8.00002-0.
- Legg, R. 2017. 'Properties of Humid Air', *Air Conditioning System Design*, pp. 1–28. doi: 10.1016/b978-0-08-101123-2.00001-7.
- Montgomery, R. and McDowall, R. 2008. 'Sensors and Auxiliary Devices', *Fundamentals of HVAC Control Systems*, pp. 106–159. doi: 10.1016/b978-0-08-055233-0.00004-2.
- Robison, H. I. 1985. *Passive and low- energy research and practices - de humidification., Passive and low energy ecotechniques. Proc. 3rd PLEA conference, Mexico City, 1984.* Pergamon Press Ltd. doi: 10.1016/b978-0-08-031644-4.50011-4.

Zheng, H. 2017. *Fundamental Relationships of Heat and Mass Transfer in Solar Seawater Desalination Systems, Solar Energy Desalination Technology*. doi: 10.1016/b978-0-12-805411-6.00003-8.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi

Dosen Universitas Buana Perjuangan Karawang

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Buana Perjuangan Karawang. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 15 karya yang telah dibuat dan sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku. Penulis juga aktif dalam kegiatan prosiding, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Jurnal yang telah ditulis bekerjasama dengan para pakar di luar negara dan dalam negeri. Anak pertama dari 3 bersaudara ini sering melakukan penelitian kecil dan melakukan eksperimen di ruangan pribadi.

BIODATA PENULIS



Zain Lillahulhaq, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri

Penulis merupakan dosen di Program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri (FTI). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis menekuni bidang Rekayasa Konversi Energy. Beberapa penelitian yang dilakukan oleh penulis berhubungan dengan renewable energy pada turbin angin dan air. Untuk mengikuti perkembangan zaman penulis juga menerbitkan beberapa jurnal tentang simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) .

BIODATA PENULIS



Dr. Irwanto, S.Pd.T., M.T.

Dosen Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Penulis lahir di Jambu (Palopo), 10 Oktober 1983 merupakan Dosen bidang Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA), Serang-Banten. Semua Pendidikan mulai dari program Sarjana, Magister dan Doktor di selesaikan di Universitas Negeri Yogyakarta Dengan Jurusan Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (PTK). Penyandang gelar Doktor dengan predikat Sangat Memuaskan merupakan Doktor ke 108 Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta dan merupakan Doktor ke 18 Program Studi Pendidikan Teknologi Kejuruan (PTK) Universitas Negeri Yogyakarta. Di luar itu, juga sebagai asisten pengajar Prof. Dr. Sugiyono, M.Pd. Untuk Mata Kuliah Statistik Pendidikan, Manajemen Pendidikan, Teknik Analisis Data Kuantitatif dan Metode Penelitian Pendidikan di Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta.

BIODATA PENULIS



Ir. Tungga Bhimadi, MT.

Dosen Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Gajayana

Lahir dari kota pecel, Madiun, 31 Agustus 1961. penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Gajayana sejak tahun 2016, juga konsultan madya bidang mekanikal serta konsultan madya bidang pompa dan *plumbing*, menyelesaikan pendidikan S1 pada Sub jurusan Teknik Penerbangan, Jurusan Teknik Mesin ITB - Bandung lulus 1986, dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November lulus 1997. Berawal dari tahun 1993 penulis hijrah ke Surabaya sebagai dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS) sampai sebagai lektor kepala sejak tahun 2000, mantan Wakil Rektor (2014) dan anggota yayasan (2012). Penulis menekuni bidang Teknik Penerbangan dan Teknik Mesin dengan menghasilkan penelitian, Penelitian terakhir penulis terkait bidang penerbangan adalah usulan dalam merumuskan **model dan metoda** yang dipublikasikan dalam jurnal internasional terindeks, dengan judul antara lain: *Air Starting System Reliability Uses Reliability Requirement Setting Model and Management Action*

Selection Method (2021), Suggestion Aspect Design Model and Proper Average Parameter Method for Preliminary Desain Phase of Basic Trainer Turboprop Aircraft (2021), dan Reliability Requirement Setting Model Used Management Action Selection Method for Tanker Machinery System (2020). Penelitian penulis bidang non teknik yang diseminarkan antara lain adalah: *Inisiatif Pergantian Tatanan Esensial Langkah Awal Pelaksanaan Revolusi Mental, Peran Budaya Dalam Dinamika Sistem Politik Indonesia, Membumikan Akhlak Rasul dengan Keteladanan yang Istiqomah untuk Mewujudkan Rasa Keadilan, dan Stress and Health Family as The Impact of Egoism and External Factor*, kemudian penulisan buku antara lain adalah: *Manajemen Industri untuk Mahasiswa Non Teknik (1995), Dasar Dasar Getaran Mekanik (2010), Konsep Teknologi (2014), Pemeliharaan Sistem Berbasis Keandalan (2016), Bunga Rampai Penelitian Teknik Mesin (2020), dan Dasar Dasar Sistem Pengaturan (2022).* Atas dedikasi dan kerja keras dalam penelitian, Kemenristek DIKTI memberikan penghargaan, salah satu Pemenang Hibah Fundamental Tahun 2014.

BIODATA PENULIS

Denni Kartika sari,ST.,MT

Dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik
Kimia Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.