



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Analisa kinerja FCU menggunakan diagram psikrometri

Made Ery Arsana^{1*}, Luh Putu Ike Midiani¹, dan Arbyansyah Darmawan³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

²Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

³Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

*Email: putuikemidiani@pnb.ac.id

Abstrak

Air Handling Unit (AHU) ataupun Fan Coil Unit, sebagai salah satu sistem untuk pemanasan dan pendinginan ruang untuk sistem HVAC. AHU/FCU menjadi salah satu pendukung dari konsumsi energi di gedung-gedung yang menggunakan sistem HVAC terutama jenis AC Central. Sistem HVAC mengkonsumsi sekitar 60% dari seluruh konsumsi energi dalam sebuah hunian/gedung konsumen energi tunggal terbesar di gedung komersial, sehingga perlu upaya penghematan energi untuk menghemat sumber daya, mengurangi polusi dan emisi CO₂ ke lingkungan. Artikel ini membahas tentang FCU yang digunakan pada AC central dan melakukan perhitungan performansi pada FCU. Pengukuran performansi FCU dilakukan dengan tujuan mengukur konsumsi energi sistem FCU, kualitas udara dalam ruangan dan kenyamanan termal di FCU. Perhitungan performansi dengan menggunakan diagram Psikrometrik dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan penghematan energi. Perhitungan yang dilakukan dengan metodologi ini dapat diperbaiki dengan memperhatikan faktor beban peralatan tambahan dan efisiensi peralatan tambahan untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat dan akurat. Penggunaan program simulasi dapat digunakan sebagai validasi dari perhitungan secara manual untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat dan akurat untuk perbaikan performansi FCU.

Kata kunci: FCU, konsumsi energi, diagram Psikrometrik

Abstract: Air Handling Unit (AHU) or Fan Coil Unit, as a system for heating and cooling space for the HVAC system. AHU/FCU is one of the supporters of energy consumption in buildings that use HVAC systems, especially Central AC types. The HVAC system consumes about 60% of all energy consumption in a residential / building the largest single energy consumer in a commercial building, in order to energy saving efforts are needed to save resources, reduce pollution and CO₂ emissions to the environment. This article discusses the FCU used in central AC and performs performance calculations on the FCU. Measurement of FCU performance is carried out with the aim of measuring the energy consumption of the FCU system, indoor air quality and thermal comfort in the FCU. Performance calculations using psychrometric diagrams can be used as a reference to make energy savings. Calculations performed with this methodology can be improved by taking into account the additional equipment load factor and additional equipment efficiency to obtain more precise and accurate results. The use of simulation programs can be used as validation of manual calculations to get more precise and accurate results for improving FCU performance.

Keywords: FCU, energy consumption, Psychrometric chart

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC) memiliki fungsi utama menyediakan kondisi yang sehat dan nyaman bagi penghuninya. Sistem HVAC mengkonsumsi sekitar 60% dari seluruh konsumsi energi dalam sebuah hunian/gedung konsumen energi tunggal terbesar di gedung komersial, sehingga perlu upaya penghematan energi untuk menghemat sumber daya, mengurangi polusi dan emisi CO₂ ke lingkungan [1, 2].

Upaya penghematan telah banyak dilakukan sebelumnya, seperti upaya menganalisis perpindahan panas

selubung bangunan untuk memperbaiki kerugian energi [3] maupun upaya perbaikan sistem HVAC tersebut [4].

Konsumsi energi pada sistem HVAC sebagian besar digunakan untuk Air Handling Unit (AHU) atau Fan Coil Unit (FCU). Komponen utama dari AHU/FCU yang menggunakan energi adalah kipas angin, penukar panas dan pemanas, komponen tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kebutuhan energi suatu bangunan maupun efisiensi energi sistem. FCU merupakan salah satu peralatan distribusi udara ruangan. FCU merupakan unit terminal yang dipasang langsung di dalam ruang yang dikondisikan atau di langit-langit di atas ruang yang

dikondisikan. unit terminal adalah peralatan terakhir yang dilalui udara sebelum dikirim ke ruang yang dikondisikan. Struktur FCU dapat diubah sesuai kebutuhan, seperti jalur aliran udara (vertikal atau horizontal) dan dudukan (terbuka atau tersembunyi), dan secara opsional dapat menggunakan ekspansi hidronik atau langsung untuk melakukan siklus filtrasi dan kontrol suhu ruangan dari udara dalam ruangan. FCU terdiri dari kipas sentrifugal, kumparan/koil bersirip, filter, selubung luar, dan kontrol [5-7].

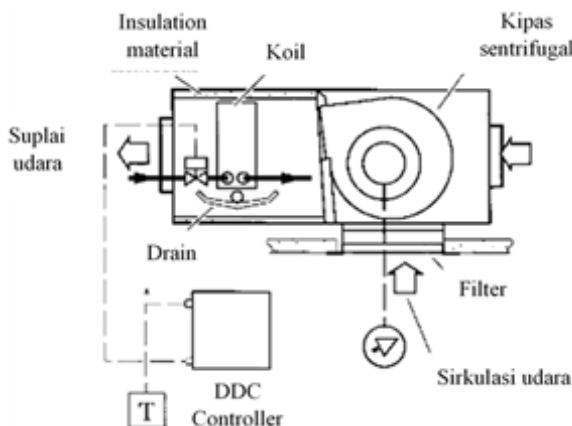
Pengukuran performansi FCU dilakukan dengan tujuan mengukur konsumsi energi sistem FCU, kualitas udara dalam ruangan dan kenyamanan termal di FCU [8].

Efisiensi energi dapat evaluasi dengan menggunakan Coefficient of Performance (COP) yang menunjukkan seberapa efisien FCU beroperasi. Kebutuhan energi FCU terdiri dari energi listrik dan energi panas. Energi listrik menyatakan konsumsi daya yang digunakan dan energi panas menyatakan laju aliran panas yang dihilangkan oleh media pendingin berupa panas sensibel dan laten ($Q_s + Q_l$). Panas sensibel adalah energi panas yang mempengaruhi temperatur udara dan panas laten adalah energi panas yang mempengaruhi kelembaban relatif, yang mempengaruhi perubahan keadaan uap air [5]. Efisiensi energi sistem AHU/FCU sangat erat kaitannya dengan letak geografis, terutama dengan parameter iklim luar ruangan seperti suhu bola kering, suhu bola basah, kelembaban relatif dan entalpi, dimana parameter-parameter tersebut ditunjukkan pada diagram Psikrometrik [9-11]. Diagram psikrometrik digunakan dalam perhitungan, analisis, dan solusi dari masalah sistem HVAC, untuk menggambarkan perubahan yang terjadi pada udara saat melewati proses pengkondisian udara dari pemanasan, pendinginan, humidifying, dan dehumidifying [12]. Representasi yang tepat dari setiap beban pada diagram Psikrometrik akan membantu memahami interaksi beban dan pengaruhnya terhadap sistem desain [13].

Pada artikel ini akan dibahas tentang performansi dari fan coil unit (FCU) yang merupakan bagian dari sistem HVAC dengan menggunakan diagram Psikrometrik.

2. Metodologi

Efisiensi operasional suatu sistem pendingin udara dapat dihitung dengan menggunakan diagram psikrometrik. Hal ini juga dapat dilakukan dalam menghitung efisiensi energi FCU. FCU yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Fan Coil Unit [14]

Efisiensi energi dapat dicapai dengan menggunakan Coefficient of Performance (COP) yang menunjukkan seberapa efisien FCU [14]. COP merupakan ukuran efisiensi dan COP tidak berdimensi karena daya input dan daya output diukur dalam Watt. Semakin tinggi nilai COP maka semakin efisien sistemnya.

COP dari FCU merupakan rasio dari kapasitas kalor dan nilai input listrik, ditunjukkan sebagai berikut :

$$COP = \frac{Q}{P} \tag{1}$$

dimana :

Q = panas yang berguna atau dibuang sistem (Watt)
 P = kerja / listrik yang diperlukan oleh sistem (Watt)

Selanjutnya perhitungan daya yang digunakan untuk menggerakkan kipas angin dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut [14]:

$$P_{el} = q_v \cdot \Delta P_{fan} / \eta_e \cdot 1000 \tag{2}$$

dimana :

P_{el} = daya listrik yang dipakai (Watt)
 q_v = volume udara yang melalui kipas (m^3/s)
 ΔP_{fan} = total tekanan masuk dan keluar kipas (Pa)
 η_e = efisiensi total fan dan motor
 $= \eta_{shaft} \times \eta_{tr} \times \eta_m \times \eta_{aceq}$

Semua nilai berlaku untuk kerapatan udara $\rho_{udara} = 1.2 \text{ kg/m}^3$

Jumlah panas sensibel dari koil pemanas/pendingin dan penukar panas dihitung dengan persamaan [15]:

$$Q_s = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{out} - t_{in}) \tag{3}$$

dimana :

Q_s = panas sensibel
 q_v = laju alir udara (m^3/s)
 ρ = berat jenis udara (kg/m^3) = 1.2 kg/m^3
 c_p = panas spesifik udara ($kJ/(kg.K)$) = 1.00 kJ/(kg.K)
 t_{out} = temperatur udara keluar koil ($^{\circ}C$)
 t_{in} = temperatur udara masuk koil ($^{\circ}C$)

Jika kelembaban udara berubah maka jumlah panas sensibel sesaat untuk pendinginan/pemanasan udara dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = q_v \cdot \rho \cdot (h_{in} - h_{out}) \tag{4}$$

dimana :

Q_s = panas sensibel saat kelembaban udara berubah
 q_v = laju alir udara (m^3/s)
 ρ = berat jenis udara (kg/m^3) = 1.2 kg/m^3
 h_{out} = entalpi udara keluar koil (kJ/kg)
 h_{in} = temperatur udara masuk koil (kJ/kg)

Panas laten sesaat untuk pemanas / coil pendingin dan penukar panas (dehumidification / humidifikasi udara dalam koil pendingin) dihitung dengan rumus [15]:

$$Q_l = q_v \cdot \rho \cdot (x_{in} - x_{out}) \cdot 2500 \tag{5}$$

dimana :

Q_l = panas laten

q_v = laju alir udara (m^3/s)

ρ = berat jenis udara (kg/m^3) = 1.2 kg/m^3

x_{out} = kandungan uap air udara keluar koil (kg/kg)

x_{in} = kandungan uap air udara masuk koil (kg/kg)

2500 = Kondensasi/evaporasi uap air pada temperatur keluar koil moderat (kJ/kg)

Perhitungan panas sensible dan panas laten menurut Grondzik tanpa memperhitungkan factor kondensasi/evaporasi sehingga perhitungan panas sensible dan panas laten adalah sebagai berikut [13]:

$$Q_s = \dot{m} \cdot \Delta h \tag{6}$$

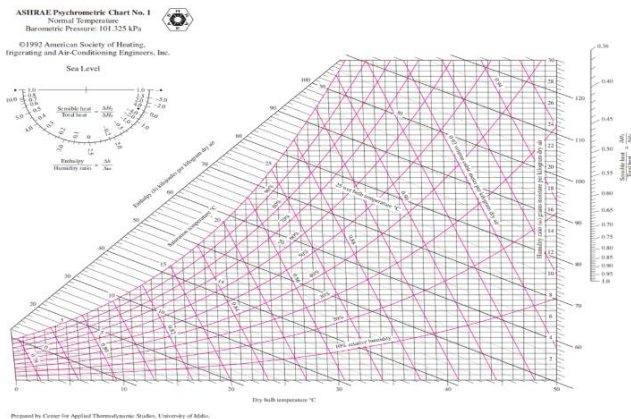
$$Q_l = \dot{m} \cdot \Delta x \tag{7}$$

Panas total (Q_t) dari koil pendingin / pemanas adalah jumlah panas sensible dan laten, maka [15]:

$$Q_t = Q_s + Q_l \tag{8}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pengolahan data untuk mendapatkan COP dilakukan dengan memplot data-data temperatur tersebut pada diagram psikrometrik dan selanjutnya dihitung menggunakan rumus-rumus yang telah disediakan. Diagram Psikrometrik yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2 dan spesifikasi FCU ditampilkan dalam Tabel 1.



Gambar 2. Diagram Psikrometrik [16]

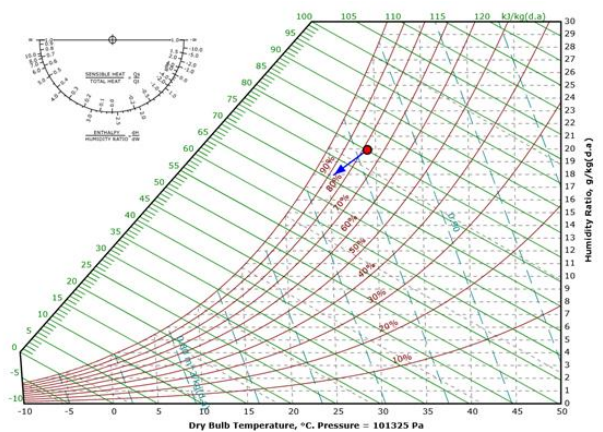
Tabel 1. Spesifikasi FCU

INDOOR UNIT			
MODEL NAME	:	SB 100	
MODEL CODE	:	SB 100-W-H1-SS05	
COOLING CAPACITY		BTU/H	100,000
MAX AIR FLOW		CFM	3,200
RATED VOLTAGE		Ph/V/Hz	1/220/50
STATIC PRESSURE		MMAq	10.16
CONNECTION			LEFT
PIPE SIZE		INLET INCH	1.5
		OUTLET INCH	1.5
SERIAL NO	:	030109F0247BW\XFA	

Hasil plot data-data pada diagram Psikrometrik tersebut ditampilkan dalam Tabel 2. Plot data pada diagram Psikrometrik ditunjukkan pada gambar 3. Selanjutnya data dari diagram Psikrometrik diolah untuk mendapatkan panas sensible, kalor laten sehingga COP dari FCU dapat diketahui. Hasil pengolahan data tersebut dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 2. Data Psikrometrik

No.	Inlet				Outlet			
	T_{uin} (°C)	Rh_{in} (%)	h_{in} (kJ/kg)	x_{in} (g/kg)	T_{uout} (°C)	Rh_{out} (%)	h_{out} (kJ/kg)	x_{out} (kg/kg)
1	28.8	82	81.79	20.69	27.2	85.5	77.39	19.62
2	29.8	79	83.96	21.13	26.7	85.8	75.55	19.10
3	29.7	75.2	80.87	19.96	26.4	83.9	73.27	18.33
4	30.1	75.4	82.65	20.50	24.7	90	70.05	17.76
5	28.9	78	79.53	19.77	25.6	82.1	69.24	17.07
6	28.8	78	79.13	19.65	24.8	85.5	68.10	16.95
7	28.6	78.4	78.59	19.52	24.7	88.4	69.23	17.43
8	28.7	76.6	77.87	19.20	24.4	91.9	69.88	17.81
9	28.9	76.3	78.40	19.32	24.5	90.3	69.44	17.60
10	28.8	78.1	79.19	19.67	24.3	91.6	69.34	17.64



Gambar 3. Proses Pengkondisian Udara pada Diagram Psikrometrik

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data

Pe_l	:	157146.67	6138	W
Q_s	:	-15.42	-0.93	W
Q_l	:	-8548.54	-0.21	W
Q_{total}	:	-8563.96	1.13	W
COP	:	-0.05	0.000184	

Dari Gambar 3 dan Tabel 2, proses pengkondisian udara yang terjadi adalah proses cooling dan dehumidifying yaitu proses penurunan temperatur dengan penurunan kandungan uap air. Penurunan temperatur terjadi dari temperatur 29.11°C menuju temperatur 25.33°C. Penurunan kandungan uap air terlihat sebesar 2.0067 kg/kg, enthalpy udara menurun sebesar 9,05 kJ/kg. Pengaruh panas sensible menyebabkan penurunan temperatur dan enthalpy pada udara, dalam perhitungan ini panas sensible besarnya 15.42 W. Panas laten mempengaruhi jumlah kandungan uap air di udara. Panas laten 8548.54 W menurunkan kandungan uap

air sebesar 2.0067 kg/kg. Penjumlahan panas sensibel dan panas laten merupakan panas total yang akan mempengaruhi performansi FCU.

Panas sensibel merupakan panas yang diperlukan untuk merubah temperatur udara. Sedangkan panas laten merupakan panas yang mempengaruhi kelembaban relatif dimana mempengaruhi perubahan keadaan uap air dalam udara. Besar panas sensibel dan panas adalah minus, hal ini menunjukkan panas tersebut dilepaskan. Untuk perhitungan COP agar tidak minus, harga panas sensibel dan panas laten dianggap positif.

Perhitungan daya terdapat perbedaan antara Haperen dan Grondzik, dimana Haperen memperhitungkan volume aliran udara, tekanan dan efisiensi peralatan tambahan untuk mendapatkan daya, sedangkan Grondzik hanya berdasarkan tegangan dan arus yang digunakan. Haperen juga menambahkan factor angka 2500 pada perhitungan panas laten, sehingga panas laten yang dihasilkan lebih besar daripada panas sensibel.

Penambahan faktor angka keamanan yang ditambahkan pada perhitungan perlu dipertimbangkan, selain itu faktor beban peralatan tambahan dan efisiensi peralatan tambahan harus dihitung secara tepat, sehingga optimasi dan efisiensi FCU dapat tercapai. Penggunaan program simulasi dapat digunakan sebagai validasi dari perhitungan secara manual.

Faktor posisi dan letak dari FCU akan mempengaruhi kondisi dari udara kembali dan udara yang disupply ke dalam ruangan yang dikondisikan, sehingga beban pendinginan meningkat dan efisiensi dari FCU akan menurun.

Perlu dipertimbangkan suatu metode kontrol yang efektif untuk FCU sehingga efisiensi operasional dari FCU dapat ditingkatkan atau dipertahankan. Kontrol konvensional FCU akan meningkatkan efisiensi operasional dan kenyamanan termal dalam ruangan tetap dapat dipertahankan

4. Kesimpulan

Metode perhitungan efisiensi FCU menggunakan diagram Psikrometrik ini masih digunakan pada iklim daerah Indonesia. Studi metodologi perhitungan efisiensi ini perlu dilakukan perbaikan pada situasi iklim yang berbeda dan kompleksitas FCU/AHU. Faktor beban peralatan tambahan, efisiensi peralatan tambahan dan penentuan penggunaan rumus perhitungan juga perlu mendapatkan perhatian untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat dan akurat.

Metodologi ini dapat diperbaiki dengan penggunaan program simulasi dan persamaan persepsi dalam penggunaan rumus perhitungan untuk memvalidasi hasil perhitungan, sehingga simulasi maupun metode perhitungan dapat menjadi suatu program desain pemilihan dan penggunaan FCU yang baik dan efisien kedepannya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan dan dukungan dari Kalab tata udara, teknisi dan mahasiswa prodi TRU dan TPTU yang telah membantu dalam penyelesaian artikel ini.

Daftar pustaka

- [1] M. Levine, D. Ürge-Vorsatz, K. Blok, L. Geng, D. Harvey, S. Lang, G. Levermore, A. Mongameli Mehlwana, S. Mirasgedis, and A. Novikova, "Residential and commercial buildings," *Climate change*, vol. 20, p. 17, 2007.

- [2] V. Chetan, K. Nagaraj, P. S. Kulkarni, S. K. Modi, and U. Kempaiah, "Review of passive cooling methods for buildings," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, p. 012054.
- [3] L. S. Paraschiv, N. Acomi, A. Serban, and S. Paraschiv, "A web application for analysis of heat transfer through building walls and calculation of optimal insulation thickness," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 343-353, 2020.
- [4] T. Magraner, A. Montero, S. Quilis, and J. Urchueguía, "Comparison between design and actual energy performance of a HVAC-ground coupled heat pump system in cooling and heating operation," *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 1394-1401, 2010.
- [5] S. K. Wang and S. K. Wang, *Handbook of air conditioning and refrigeration* vol. 49: McGraw-Hill New York, 2000.
- [6] H.-C. Chuang, J.-H. Chi, K.-Y. Chang, and C.-T. Lee, "Study on a fan coil unit and chiller by an intelligent control method with a stepless variable speed driving technology," *Building and Environment*, vol. 132, pp. 137-146, 2018.
- [7] A. Ranade, G. Provan, A. E.-D. Mady, and D. O'Sullivan, "A computationally efficient method for fault diagnosis of fan-coil unit terminals in building Heating Ventilation and Air Conditioning systems," *Journal of Building Engineering*, vol. 27, p. 100955, 2020.
- [8] Z. Tianyi, Z. Jili, and S. Dexing, "Experimental study on a duty ratio fuzzy control method for fan-coil units," *Building and Environment*, vol. 46, pp. 527-534, 2011.
- [9] J. Trojanova, J. Vass, K. Macek, J. Rojiček, and P. Stluka, "Fault diagnosis of air handling units," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 42, pp. 366-371, 2009.
- [10] G. Hundy, A. Trott, and T. Welch, "Air Conditioning Methods and Applications," *Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps*, 2016.
- [11] R. Legg, *Air conditioning system design*: Butterworth-Heinemann, 2017.
- [12] S. C. Sugarman, *HVAC fundamentals*: Crc Press, 2020.
- [13] W. T. Grondzik, *Air-conditioning system design manual*: Elsevier, 2007.
- [14] K. Vadoudi and S. Marinhas, "Development of Psychrometric diagram for the energy efficiency of Air Handling Units," *The REHVA European HVAC Journal*, p. 5, 2018.
- [15] K. van Haperen, "Recommendations for calculations of energy consumption for air handling units," ed: EUROVENT, 2005.
- [16] A. H. Fundamentals, "SI Edition, Atlanta: American Society of Heating," *Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc*, 2001.