

Analisis Studi Konsumsi Energi Sistem Tata Udara *Passive Chilled Beam* dan *Active Chilled Beam* Pada Gedung Perkantoran di Indonesia

Ikhsan Inayaturrakhman¹, Andi Firdaus Sudarma¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: ikhsans.rakhman@gmail.com

Abstrak-- Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan sistem tata udara adalah tingkat konsumsi energi karena sistem tata udara merupakan penyumbang energi terbesar pada bangunan. Beberapa alternatif dihasilkan dari perkembangan teknologi sistem tata udara bisa menjadi pilihan untuk mendapatkan sistem tata udara yang optimal dan efisien dalam hal konsumsi energi, salah satunya adalah *chilled beam*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sistem tata udara yang paling efisien antara sistem *passive chilled beam* dan *active chilled beam* dengan dibandingkan dengan standar nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) gedung efisien di Indonesia. Analisis metode kuantitatif digunakan untuk mendapatkan nilai konsumsi energi pada kedua sistem tata udara dengan menentukan kriteria kondisi ruangan, melakukan perhitungan beban dan seleksi *chilled beam* dihasilkan beban pendinginan sebesar 753.14 kW. Berdasarkan pemakaian pada jam operasional kantor (08.00-17.00) = 9 jam maka didapatkan hasilnya bahwa sistem *active chilled beam* memiliki nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang lebih efisien yaitu sebesar 74.86 kWh/m².tahun dibandingkan dengan sistem *passive chilled beam* dengan konsumsi energi 98.04 kWh/m².tahun.

Kata kunci: Sistem tata udara, *chilled beam*, *passive chilled beam*, *active chilled beam*, efisiensi energi, intensitas konsumsi energi.

Abstract-- The level of energy consumption in buildings is one of the things that needs to be considered in the planning of air conditioning system because this system is the largest energy contributor in buildings. Several alternatives resulting from the development of air conditioning system technology can be an option to obtain an optimal and efficient air conditioning system in terms of energy consumption, one of which is the *chilled beam*. This study aims to determine the most efficient air conditioning system between *passive chilled beam* and *active chilled beam* systems compared to the standard value of energy consumption intensity of efficient buildings in Indonesia. Quantitative method analysis is used to obtain the value of energy consumption in both air condition systems by determining the criteria for room conditions, calculating the load and selecting the *chilled beam* resulting in a cooling load of 753.14 kW. Based on office operating hours (08.00-17.00) = 9 hours, the result is *active chilled beam* system has more efficient energy consumption with energy consumption 74.86 kWh/m².year compared to the *passive chilled beam* system with an energy consumption of 98.04 kWh/m².year.

Keywords: Air conditioning system, *chilled beam*, *passive chilled beam*, *active chilled beam*, energy efficiency, energy consumption

1. PENDAHULUAN

Perencanaan pada sistem tata udara yang baik menghasilkan terjaganya kenyamanan termal sesuai dengan yang diharapkan. Kenyamanan termal memiliki kriteria desain atau standarisasi yaitu di antaranya Standar Nasional Indonesia (SNI)-03-6572-2001. Sistem tata udara yang akan dipilih untuk mendapatkan jaminan tingkat kenyamanan diperlukan seleksi atau studi perbandingan untuk mengetahui sistem yang paling hemat energi, karena perlu diketahui bahwa sistem tata udara pada umumnya memiliki porsi konsumsi energi terbesar dalam suatu bangunan yaitu sebesar 55%-65%[1].

Pada tipikal gedung perkantoran dalam desain tata udara salah satu yang digunakan ialah desain sistem tata udara dengan *variable air volume* dengan *chilled water system* sebagai media pendinginnya dikarenakan tingkat efisiensi yang baik dan kemampuan kapasitas yang besar. Namun sesuai perkembangan teknologi muncul inovasi pada peralatan sistem tata udara yang lebih adaptif dalam hal fleksibilitas kebutuhan pengguna dalam hal jam operasi, kepraktisan dalam hal pemasangan dan mudah dalam perawatan yaitu sistem VRF (*Variable Refrigerant Flow*) dan *chilled beam*. Kemunculan variasi pada alat sistem tata udara ini menarik untuk dilakukan penelitian dalam hal

perbandingan konsumsi energi untuk mengetahui dan mencari peluang dalam hal penghematan energi pada sistem tata udara terkini yang disebutkan, yaitu *chiller water* dengan *Passive Chilled Beam* (PCB) dan *Active Chilled Beam* (ACB) tanpa mengurangi persyaratan dari kenyamanan termal dan kualitas udara ruang.

Chilled beam adalah jenis sistem tata udara konveksi yang dirancang untuk memanaskan dan mendinginkan ruangan yang biasa digunakan pada gedung perkantoran berkonsep terbuka yang dilewatkan melalui penukar panas dan terintegrasi langsung ke plafon [2]. Perbedaan *passive chilled beam* dan *active chilled beam* terletak pada distribusi *primary air*, di mana *passive chilled beam* tidak dilewati oleh *primary air* pada koil pendinginnya. Penelitian energi pada sistem tata udara *chilled beam* merupakan kajian baru di Indonesia. Salah satu penelitian yang pernah dilakukan oleh Haider Latief, Goran Hultmark, Samira Rahmana, Alessandro Maccarini, dan Alireza Afshari (2022) mengenai sistem *Active Chilled Beam* menunjukkan bahwa pada bangunan kantor pengurangan konsumsi energi mencapai 30% dibandingkan dengan sistem HVAC konvensional [3].

Banyak hal yang membuat sistem *chilled beam* lebih unggul dibanding sistem lainnya, di antaranya adalah tidak memiliki kipas unit terminal sehingga energi kipas sistem secara keseluruhan lebih rendah, tidak berisik karena tidak menggunakan kipas, dan tidak memiliki filter kondensat sehingga lebih mudah dalam pemeliharaan. Tetapi karena harus terus menerus menyediakan udara luar yang cukup dingin langsung ke unit menjadikan sistem *chilled beam* akan mudah mengalami kondensasi yang tentunya mengganggu pengguna gedung dan dapat merusak fasilitas dari kantor itu sendiri.

2. METODOLOGI

2.1 Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan konsumsi energi adalah sebagai berikut:

1. Data iklim
2. Parameter ruangan: temperatur ruang 24°C, rasio kelembaban ruang 50%, dan *dew point* 13 °C.
3. Jam operasional sistem tata udara: 9 jam per hari, dengan 5 hari kerja dalam seminggu, dan 52 minggu dalam setahun.
4. Denah ruang perkantoran 15 lantai tipikal. beban pendingin yang dihitung diasumsikan sama pada setiap lantai.

Tabel 1. Detail ruang kantor

No.	Nama Ruang	Luas Ruang (m ²)	Tinggi Ruang (m)	Volume Ruang (m ³)	Jumlah Okupansi (max)
1	Accounting Manager	15.6	2.7	42.12	2
2	Archive	18.9	2.7	51.03	-
3	Assistant	11.8	2.7	31.86	2
4	Call Booth 1	5.6	2.7	15.12	2
5	Call Booth 2	5.6	2.7	15.12	2
6	Coffee & Recreation	43.7	2.7	117.99	16
7	Deputy GM	15.6	2.7	42.12	2
8	General Manager	33.2	2.7	89.64	2
9	HR Manager	15.6	2.7	42.12	2
10	Meeting 1	30.9	2.7	83.43	12
11	Meeting 2	13.4	2.7	36.18	6
12	Meeting 3	13.4	2.7	36.18	6
13	Open Office	345.3	2.7	932.31	32
14	Supply Chain Manager	16.1	2.7	43.47	2
15	Technical Director	16.1	2.7	43.47	2

5. Material bangunan: material atap ruangan memiliki plafon sehingga beban panas matahari tidak secara langsung ke dalam ruangan, maka yang dihitung adalah beban panas pada partisi plafon.
6. Dinding: plester sisi luar tebal 13mm, dinding *hebel* AAC tebal 125 mm, plester sisi dalam tebal 12 mm.
7. *Ceiling*: *gypsum board* 9mm.
8. Kaca: *single glass green tinted* dengan tebal 8 mm dan diketahui nilai konduktivitas termal 4.3 W/m²K dan *shade coefficient* 0.23).
9. Beban peralatan (*plug load*): pendekatan nilai yang diambil yaitu sebesar 10.8 W/m² [4].
10. Beban kalor bangunan: internal, eksternal, ventilasi, dan infiltrasi. Beban infiltrasi diabaikan dengan asumsi tingkat kebocoran antara bangunan dengan udara luar sangat rendah dan perhitungan beban kalor pada penelitian ini menggunakan *software* E20/HAP versi 5.11.

2.2 Metode Perhitungan

Metode perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

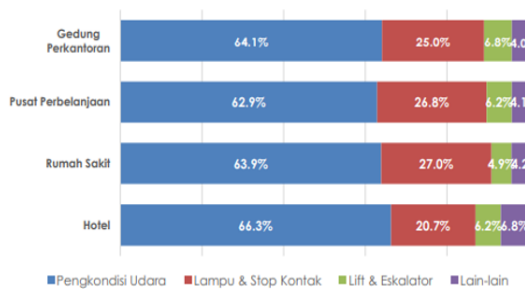
1. Seleksi unit *chilled beam*, AHU, *chiller*, dan *cooling tower* berdasarkan data kebutuhan *cooling load*. Seleksi *chilled beam* dilakukan menggunakan *Price Chilled Beam Selection Software* [5] atau bisa dilakukan dengan tahapan sebagai berikut [6]:
 - Menentukan kriteria kondisi ruangan.
 - Menentukan suhu air pendingin (*chilled water*).
 - Menentukan kriteria kondisi *primary air*.
 - Menentukan laju aliran udara yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan ruangan dari sisi *ventilation rate* dan beban laten.
 - Menentukan kapasitas pendingin *sensible* dari koil pendingin *chilled beam* yang berhubungan dengan *supply* udara

- dalam mengatasi beban sensibel ruangan.
- Menentukan jumlah, ukuran, dan laju aliran air berdasarkan kebutuhan kapasitas beban pendingin.
- Perhitungan konsumsi energi. Konsumsi energi yang dihitung adalah energi pada pemakaian AHU, *chiller*, dan *cooling tower* sebagai penyedia air dan udara dingin ke sistem *chilled beam*, termasuk di dalamnya konsumsi energi pompa pada *chiller*.
 - Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) dari hasil keseluruhan konsumsi energi terhadap luasan bangunan kantor kemudian dibandingkan dengan nilai indeks bangunan gedung efisien kantor pada sistem tata udara. Di mana acuan yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 2. Standar nilai IKE gedung [7]

Jenis Gedung	IKE
	kWh/m ² .tahun
Perkantoran	180.95
Hotel	208.15
Rumah Sakit	180.81
Pusat Perbelanjaan	286.54

Nilai di atas merupakan nilai indeks bangunan efisien secara keseluruhan. Jika dibagi per sistem maka sistem tata udara memiliki porsi sebesar 64.10%.



Gambar 1. Pengguna energi signifikan gedung komersial [7]

Maka, Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada gedung perkantoran per m².tahun yang akan dijadikan acuan perbandingan pada penelitian sistem tata udara ini adalah sebesar 115.99 kWh/m².tahun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil seleksi unit *chilled beam*

Pada sistem ACB, beban yang didapat dari perangkat lunak *Price* adalah sebesar 46.11 kW, maka untuk bangunan 15 lantai total beban pendinginan sensibel adalah sebesar 691.61 kW atau setara dengan 196.65 TR. Sedangkan untuk PCB, beban yang didapat dari perangkat lunak *Price* adalah sebesar 32.31 kW, maka untuk bangunan 15 lantai total beban pendinginan adalah sebesar 484.61 kW atau setara dengan 137.79 TR. Pada kedua sistem ini, beban *airside cooling* akan diproses oleh AHU.

2. Hasil seleksi AHU DOAS dan *chiller*

Kapasitas unit AHU dan *chiller* yang dipilih adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Kapasitas AHU dan *chiller*

Unit	<i>Chilled Beam</i>	AHU DOAS	Total	<i>Chiller Capacity</i>
	TR	TR	TR	TR
PCB	196.65	169.04	365.68	400
ACB	137.79	142.02	279.81	300

3. Konsumsi energi AHU DOAS

Konsumsi energi yang dihasilkan oleh AHU adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Total energi AHU DOAS - PCB

No.	Deskripsi	Unit	Nilai
1	<i>Outdoor Temperature (Dry Bulb)</i>	°C	34
2	<i>Supply Air Temperature</i>	°C	12
3	<i>Difference Temperature</i>	°C	22
4	<i>Air Flow Rate</i>	m ³ /min	1,018
5	<i>Total Static Pressure</i>	mm aq	50.9
6	<i>Fan Efficiency</i>	%	70
7	<i>Drive Efficiency</i>	%	70
8	<i>Motor Efficiency</i>	%	70
	Power Fan AHU	kW	24.32

Energi yang dikonsumsi oleh sistem *Passive Chilled Beam* (PCB) dalam setahun didapatkan sebesar: Total konsumsi energi = 24.32 kW x 2,340 *hours/year* = 56,914.36 kWh/year.

Tabel 5. Total energi AHU DOAS - ACB

No.	Deskripsi	Unit	Nilai
1	<i>Outdoor Temperature (Dry Bulb)</i>	°C	34
2	<i>Supply Air Temperature</i>	°C	12
3	<i>Difference Temperature</i>	°C	22
4	<i>Air Flow Rate</i>	m ³ /min	835
5	<i>Total Static Pressure</i>	mm aq	73.2
6	<i>Fan Efficiency</i>	%	70
7	<i>Drive Efficiency</i>	%	70
8	<i>Motor Efficiency</i>	%	70
	Power Fan AHU	kW	28.68

Energi yang dikonsumsi oleh sistem *Active Chilled Beam* (ACB) dalam setahun didapatkan sebesar: Total konsumsi energi = 28.68 kW x 2,340 hours/year = 67,105.39 kWh/year.

4. Konsumsi energi *cooling tower*

Konsumsi energi yang dihasilkan oleh *cooling tower* adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Konsumsi energi *cooling tower* - PCB dan ACB

No.	Deskripsi	Unit	PCB	ACB
1	Cooling Tower Capacity	TR	452	339
2	Condenser Flow	l/minute	4,542	3,408
3	Cooling Tower Efficiency	kW/TR	0.03	0.04
4	Cooling Tower Fan Power	kW	15	15

5. *Non Standart Part Load Value* (NPLV)

Berikut adalah perhitungan *Non Standart Part Load Value* (NPLV) untuk sistem PCB dan ACB [8]:

$$- \text{NPLV PCB} = \frac{1}{\frac{0.05}{0.5965} + \frac{0.75}{0.6148} + \frac{0.2}{0.692}} = 0.628$$

$$\text{NPLV ACB} = \frac{1}{\frac{0.05}{0.5664} + \frac{0.75}{0.5886} + \frac{0.2}{0.6759}} = 0.603$$

6. Konsumsi energi *chiller plant*

Konsumsi energi yang dihasilkan oleh *chiller plant* termasuk pompa adalah sebagai berikut:

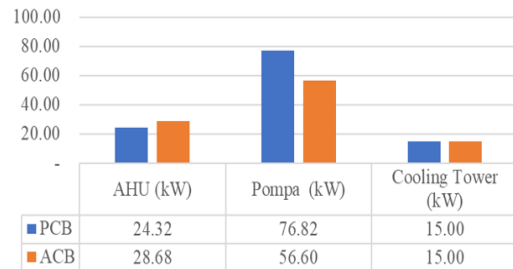
Tabel 7. Konsumsi energi *chiller plant* - PCB dan ACB

No.	Deskripsi	Unit	PCB	ACB
1	Total Cooling Load	TR	400	300
2	Chiller Full Load	kW/TR	0.6	0.57
3	Water Cooled Chiller - NPLV Calculation	kW/TR	0.63	0.6
4	Primary Chilled Water Pump Calculation	kW/TR	0.09	0.09
5	Secondary Chilled Water Pump Calculation	kW/TR	0.08	0.07
6	Condenser Water Pump Calculation	kW/TR	0.06	0.06
7	Cooling Tower - CT	kW/TR	0.03	0.04
8	Total Chiller Utility	kW/TR	0.88	0.87
9	Total Chiller	kW/TR	0.63	0.6
10	Chiller Utility Consumption	kWh/Year	828,061.39	608,612.47

3.2 PEMBAHASAN

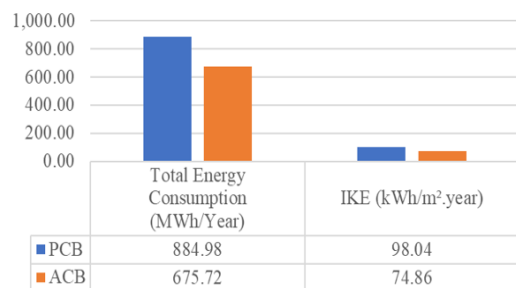
Berdasarkan tabel perhitungan di atas, maka energi yang dibutuhkan dapat terlihat pada gambar 2. di bawah, di mana energi yang dibutuhkan untuk keseluruhan pompa sistem

ACB lebih besar dari sistem PCB. Hal ini sesuai dengan data jumlah *chilled water* yang lebih besar pada PCB maka dibutuhkan daya listrik yang lebih besar.



Gambar 2. Konsumsi energi unit tata udara

Kemudian pada tabel 6. total kapasitas *cooling tower* didapatkan berdasar pada laju aliran air kondensor dan perbedaan suhu air masuk atau keluar. Data laju aliran air diperoleh dari acuan 3 GPM/TR *chiller* dan perbedaan suhu 5°C. Setelah melakukan seleksi dan penyesuaian pada katalog didapatkan konsumsi daya listrik yang sama untuk sistem ACB dan PCB sebesar 15 kW, namun berbeda pada performansi kW/TR yaitu sebesar 0.04 untuk ACB dan 0.03 untuk PCB dikarenakan perbandingan kapasitas yang berbeda di antara keduanya. Selanjutnya NPLV pada *chiller* berdasar data *part load performance* dari hasil seleksi *chiller*. NPLV *chiller* ACB sebesar 0.603 dan NPLV *chiller* PCB sebesar 0.628. Perbedaan ini disebabkan secara signifikan pada kondisi 75% *part load* di mana mayoritas durasi lamanya *chiller* bekerja pada beban tersebut terjadi yaitu nilai kW/TR *chiller* pada sistem ACB lebih kecil dari sistem PCB yaitu 0.5886 kW/TR sedangkan pada PCB sebesar 0.6148 kW/TR. Hal ini tentu akan mempengaruhi besaran konsumsi energi. Secara keseluruhan konsumsi energi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Total konsumsi energi

Hasil Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada gambar di atas didapat dari perhitungan yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Perhitungan IKE *chilled beam*

Deskripsi	Konsumsi Energi (kWh/tahun)	Luas (m ²)	IKE (kWh/m ² .tahun)
PCB	884,975.75	9,027	98.04
ACB	675,717.85	9,027	74.86

Dari hasil perhitungan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yang didapat pada kedua sistem *chilled beam* lebih hemat dari nilai batasan indeks konsumsi energi sistem tata udara untuk gedung perkantoran yang efisien, yaitu 115.99 kWh/m².tahun. Di mana sistem PCB lebih hemat 15.48% dan ACB lebih hemat sebesar 35.46% dari nilai batasan indeks tersebut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. *Active chilled beam* memiliki konsumsi energi sebesar 675,717.85 kWh per tahun sedangkan *passive chilled beam* memiliki konsumsi energi sebesar 884,975.75 kWh per tahun dengan kriteria kondisi ruangan dan *cooling load* pada *chilled beam* yang sama, yaitu temperatur ruang 24°C, kelembaban udara 50%, *dew point* 13°C/ 9.3g/Kg, dan beban pendingin sebesar 753.14 kW.
2. *Active chilled beam* memiliki energi yang lebih efisien dibandingkan dengan sistem *passive chilled beam* dengan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) untuk HVAC pada *active chilled beam* sebesar 74.86 kWh/m².tahun sedangkan pada *passive chilled beam* sebesar 98.04 kWh/m².tahun.
3. *Active chilled beam* menghasilkan energi yang lebih hemat sebesar 35.46% dari nilai batasan indeks konsumsi energi sistem tata udara untuk gedung efisien dan *passive chilled beam* menghasilkan energi yang lebih hemat sebesar 15.48% dari nilai batasan indeks konsumsi energi sistem tata udara untuk gedung efisien.

4.2 SARAN

Saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai analisis total biaya investasi dan pemeliharaan pada sistem *chilled beam*.
2. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai variasi perubahan *set point* suhu ruangan dari nilai minimum sampai maksimum untuk mengetahui penghematan energi yang lebih efisien.

Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai

efisiensi energi kombinasi dari sistem *passive chilled beam* dan *active chilled beam*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Gunawan, Budihardjo, J. S. Juwana, J. Priatman, W. Sujatmiko, and T. Sulistiyanto, *Buku Pedoman Energi Efisiensi*. 2012.
- [2] Belimo, "What is a Chilled Beam?," *Belimo*, 2022.
https://www.belimo.com/se/en_GB/energy-valve/hvac-applications/chilled-beam.html (accessed Apr. 17, 2022).
- [3] H. Latif, G. Hultmark, S. Rahnema, A. Maccarini, and A. Afshari, "Performance evaluation of active chilled beam systems for office buildings – A literature review," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. doi: 10.1016/j.seta.2022.101999.
- [4] ASHRAE, *ASHRAE Handbook of Fundamentals*. 2017.
- [5] Price Industries, "Engineering Guide Active & Passive Beams," *Price*, p. 48, 2011.
- [6] REHVA and ASHRAE, *Active and Passive Beam Application Design Guide*. Atlanta: REHVA and ASHRAE, 2015.
- [7] Balai Besar Teknologi Konversi Energi B2TKE-BPPT, "Benchmarking Specific Energy Consumption Di Bangunan Komersial," 2020, [Online]. Available: www.b2tke.bppt.go.id
- [8] Green Building Council Indonesia, *Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau Bangunan Baru*, Edisi Kedu. Jakarta: Green Building Council Indonesia, 2018.