

Analisis Potensi Penghematan Energi pada Sistem HVAC di Pabrik melalui Implementasi BAS

Edy Supriyadi, Poedji Oetomo, Mayharani Jasiska Dini Daud

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh Kahfi II, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Jakarta, 12640, Indonesia
edy_syadi@istn.ac.id, Mayharanijdd28@gmail.com

ABSTRAK

Sistem Heating, Ventilating, and Air Conditioning (HVAC) merupakan penyumbang konsumsi energi terbesar dalam industri. Oleh karena itu, Building Automation System (BAS) diterapkan untuk mengoptimalkan pengoperasian HVAC secara otomatis guna meningkatkan efisiensi energi serta mengurangi pemborosan daya. Penerapan BAS memungkinkan sistem HVAC dikendalikan lebih presisi dengan menyesuaikan kecepatan kipas, suhu, dan kelembapan berdasarkan kebutuhan aktual. Dengan pengaturan ini, konsumsi daya dapat dikurangi secara signifikan, dengan potensi penghematan energi sebesar 3.672 kWh hingga 14.328 kWh, serta peningkatan efisiensi energi dalam rentang 7,8% hingga 12,4%. Meskipun Intensitas Konsumsi Energi (IKE) pada sistem HVAC masih tergolong tinggi, BAS tetap terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi. Faktor utama yang berkontribusi terhadap penghematan energi adalah penggunaan Variable Frequency Drive (VFD), yang dapat menghemat energi sebesar 30–50%, serta efisiensi filter Air Handling Unit (AHU), yang mampu mengurangi konsumsi energi hingga 20,56%. Selain itu, BAS memungkinkan pemantauan sistem secara real-time, sehingga konsumsi energi dapat dikendalikan lebih optimal.

Dengan penerapan BAS, sistem HVAC dapat bekerja lebih efisien, konsumsi energi dapat ditekan, dan strategi pengelolaan energi menjadi lebih efektif. Oleh karena itu, BAS menjadi solusi strategis dalam meningkatkan efisiensi energi pada sistem HVAC di industri.

Kata kunci: AHU, BAS, efisiensi energi, HVAC, VFD.

ABSTRACT

The Heating, Ventilating, and Air Conditioning (HVAC) system is one of the largest contributors to energy consumption in the industry. Therefore, the Building Automation System (BAS) is implemented to optimize HVAC operations automatically, improving energy efficiency and reducing energy waste. BAS implementation allows HVAC systems to be controlled more precisely by adjusting fan speed, temperature, and humidity based on actual needs. With these adjustments, power consumption can be significantly reduced, with potential energy savings ranging from 3,672 kWh to 14,328 kWh, and an increase in energy efficiency between 7.8% and 12.4%. Although the Energy Consumption Intensity (IKE) of the HVAC system remains relatively high, BAS has proven effective in enhancing energy efficiency. The key factors contributing to energy savings are the use of a Variable Frequency Drive (VFD), which can save 30–50% of energy, and the efficiency of the Air Handling Unit (AHU) filter, which can reduce energy consumption by up to 20.56%. Additionally, BAS enables real-time system monitoring, allowing for better energy consumption control. With BAS implementation, HVAC systems can operate more efficiently, energy consumption can be minimized, and energy management strategies can be more effective. Therefore, BAS serves as a strategic solution to improve energy efficiency in industrial HVAC systems.

Keywords: AHU, BAS, energy efficiency, HVAC, VFD.

Pendahuluan

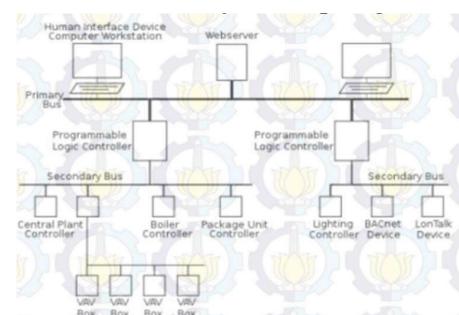
Kebutuhan listrik di industri dan infrastruktur terus meningkat seiring pembangunan dan aktivitas operasional, terutama untuk sistem pendingin seperti *Air Handling Unit* (AHU). Untuk menekan konsumsi energi dan biaya operasional, penggunaan *Building Automation System* (BAS) menjadi solusi efektif. BAS memungkinkan pemantauan dan pengendalian berbagai sistem gedung, termasuk HVAC. Dengan adanya BAS, kinerja sistem *Heating, Ventilating, and air Conditioning* (HVAC) dapat dikendalikan secara otomatis dan efisien sesuai dengan kebutuhan *real-time*, mengurangi pemborosan energi dan biaya operasional. Selain itu, BAS juga memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan dengan mengurangi jejak karbon yang dihasilkan dari penggunaan energi yang tidak efisien.

1. Kajian Pustaka

A. Building Automation System (BAS)

BAS adalah suatu sistem pengendalian dan pemantauan yang terpusat dari seluruh peralatan mekanikal dan elektrikal yang terdapat di suatu gedung. BAS dalam suatu gedung merupakan suatu sistem yang dapat mengatur penggunaan energi sesuai yang dibutuhkan tanpa mengurangi fungsi peralatan yang dipakai dan berguna dalam meningkatkan kemampuan melakukan manajemen energi pada suatu gedung. BAS terdiri dari PC server, *Direct Digital Controller* (DDC), *Switch* dan *Uninterruptible Power Supply* (UPS). [1]

Gambar 1 menunjukkan topologi BAS.

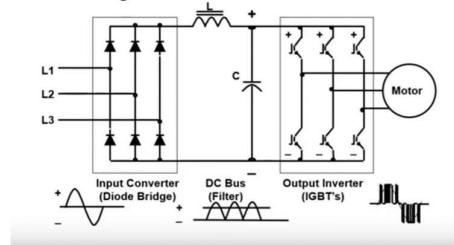


Gambar 1 Topologi BAS

B. Variable Frequency Drive (VFD)

VFD adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol kecepatan rotasi motor listrik AC dengan mengubah frekuensi dan tegangan inputnya. Cara kerja VFD pertama-tama yaitu VFD menerima sumber listrik AC dari jaringan listrik kemudian diubah menjadi DC (arus searah) oleh komponen yang disebut penyearah. Listrik DC yang dihasilkan kemudian disaring dan disimpan dalam kapasitor pada bagian yang disebut DC bus. Lalu, inverter mengubah tegangan DC kembali menjadi AC dengan frekuensi yang dapat disesuaikan. Bagian inverter ini terdiri dari beberapa transistor atau komponen elektronik yang bisa mengalihkan arus DC ke AC dalam bentuk gelombang kotak (PWM - Pulse Width Modulation). Dengan mengatur rasio antara frekuensi dan tegangan yang diterapkan ke motor, VFD memungkinkan kontrol yang sangat presisi atas kecepatan motor. Semakin tinggi frekuensi, semakin cepat putaran motor, dan semakin rendah frekuensi, semakin lambat putaran motor. Akhirnya, listrik AC yang sudah diubah frekuensinya disalurkan ke motor, yang akan berputar sesuai dengan pengaturan frekuensi yang diterima.[2]

Berikut pada gambar 2 ditunjukkan gambar rangkaian VFD.



Gambar 2 Rangkaian VFD

C. Heating System, Ventilating and Air Conditioning (HVAC)

HVAC atau yang biasa disebut tata udara adalah suatu sistem yang di dalamnya mengatur suhu, temperatur, dan kelembapan udara pada suatu ruangan, agar kondisi udara dalam ruangan dapat dikategorikan nyaman. Kualitas udara merupakan salah satu hal yang paling penting dalam menunjang aktivitas

manusia. Dengan sistem kelola udara bisa menghasilkan kualitas udara yang baik sehingga diperoleh kenyamanan bagi umat manusia. [3] Sistem HVAC dalam gedung tersusun dalam beberapa komponen utama antara lain cooling tower, conde water pump, chiller, Air Handling Unit (AHU) atau Fan Coil Unit (FCU), semua komponen dioperasikan dengan bantuan panel kontrol DDC (Direct Digital Control) yang tergabung dalam sistem BAS (Building Automatic System), yang berguna mengatur kerja dari semua komponen agar tercipta sistem pengkondisian udara yang baik.[4]

D. Air Handling Unit (AHU)

AHU adalah mesin pengatur udara yang mengubah udara normal menjadi udara dingin ataupun hangat, hal ini bertujuan untuk menyesuaikan udara pada suatu area yang telah ditentukan. [4]

Terdapat beberapa komponen yang berperan dalam mengatur kondisi udara antara lain *fan blower*, *cooling coil*, dan *filter*.[3]

E. Dehumidifier

Dehumidifier (dehum) adalah perangkat yang digunakan untuk mengurangi kelembapan udara dengan menghilangkan uap air di dalamnya.[5]

Terdapat dua jenis dehum yaitu refrigerant dehum dan desiccant dehum. Refrigerant dehumidifier mengurangi kelembapan dengan mendinginkan udara hingga uap air mengembun dan dibuang, lalu udara dikeringkan dan dilepaskan kembali. Sementara itu, desiccant dehumidifier menyerap kelembapan dengan desiccant wheel berisi silica gel, lalu menguapkan air yang terserap melalui pemanasan sebelum dibuang. Keduanya bekerja dalam siklus berkelanjutan untuk menjaga udara tetap kering.[6]

F. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

IKE merupakan Indikator utama penghematan energi digedung. IKE menunjukkan besarnya konsumsi energi (kWh) per meter persegi (m²) setiap bulan.

Angka IKE diperoleh dengan rumus berikut.[7]

G. Cubic Fan Law

Hukum ini menyatakan bahwa daya yang dibutuhkan dalam suatu sistem ventilasi atau distribusi udara berbanding kubik dengan ukuran saluran atau kecepatan aliran udara. Secara matematis, hubungan ini dapat dituliskan sebagai berikut:[8]

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

2. Deskripsi Penelitian Dan Sistem Yang Dianalisa

A. Deskripsi Lokasi Penelitian

Building Automation System (BAS) ini terpasang di pabrik wafer di daerah Jawa Timur dengan luas 99.463m². Pabrik ini memiliki 8 zona yang memiliki fungsinya masing-masing seperti sebagai ruang utilitas, ruang produksi, gudang, ruang pengemasan, ruang formulasi, dan kantor. Zona yang dibahas dalam penelitian ini yaitu ruang pengemasan wafer yang berada di zona 5 dan ruang pengemasan biskuit pada zona 4.2. Untuk zona 1 dan zona 5 yang merupakan ruang pengemasan wafer, dibutuhkan AHU utama dan AHU precooling. Sedangkan untuk zona 4.2 hanya AHU utama saja. Untuk pembagian zona dan data peralatan AHU terlampir pada tabel 1 berikut. Untuk zona 1 dan 5, RH yang dibutuhkan cukup rendah yaitu maksimal 45%. Maka pada kedua zona ini dilengkapi dehum untuk membantu mengeringkan udara sebelum didistribusikan ke ruangan. Data peralatan dehum ini dapat dilihat pada tabel 2. Sedangkan pada zona 4.2, RH yang diinginkan tidak terlalu rendah yaitu maksimal 55%. Sehingga pada zona ini tidak dibutuhkan dehum. Namun pada zona ini, masing-masing AHU dilengkapi dengan *electric heater* 21kW untuk membantu mengeringkan udara agar mencapai setpoint.

Tabel 1 Data Peralatan AHU

Area Servis	Kode Unit	Jumlah	Kapasitas (TR)	Motor (kW)	Setpoint Temp (°C)
Zona 1	AHU-Z1-PW-1	1	28,48	15	22
	AHU-Z1-PC-1	1	37,32	1,1	22
Zona 5	AHU-Z5-PW-1&2	2	27,34	15	22
	AHU-Z5-PC-1	1	28,69	1,1	22
Zona 4.2	AHU-Z4.2-PB-1~11	11	34,22	11	22

Tabel 2 Data Peralatan Dehum

No.	Kode Unit	Qty	Lokasi	Air Flow (CMH)	Power (kW)	Setpoint RH max (%)
1	DEHUM-Z1-01	1	Zona 1	4200	49,3	45
2	DEHUM-Z5-01&02	2	Zona 5	4200	49,3	45

B. Cara Pengoperasian AHU Tanpa BAS

Tanpa BAS, sistem AHU dioperasikan secara manual oleh operator tanpa otomatisasi dari sensor dan aktuator. Ini berarti operator harus mengatur dan memantau semua komponen secara langsung yang bisa menyebabkan inefisien energi dan respons yang lebih lambat terhadap perubahan kondisi ruangan.

Pertama, operator harus memastikan bahwa pompa chilled water pada chiller sudah dalam kondisi menyala. Kemudian operator harus menyalakan fan AHU secara manual menggunakan breaker di panel MCC. Karena Duct temperature sensor tidak mengontrol suhu secara otomatis, maka operator harus memantau langsung dan menyesuaikan valve. Jika suhu terlalu tinggi, operator membuka valve lebih lebar. Jika terlalu dingin, katup harus ditutup sebagian. Untuk dehum, operator tidak perlu mengatur nyala matinya karena dehum sudah ada pengaturannya tersendiri. Fan AHU berjalan dengan kecepatan maksimal tanpa ada penyesuaian otomatis berdasarkan kebutuhan ruangan karena tidak ada VFD. Akibatnya konsumsi energi akan lebih tinggi. Operator secara berkala mengecek kondisi sistem. Jika ada masalah seperti filter tersumbat atau fan mati tidak ada alarm otomatis. Operator mematikan fan AHU dari panel kontrol MCC dan juga

valve serta damper harus ditutup manual setelah AHU mati.

Jika tanpa BAS, pengambilan data power, suhu, dan kelembapan dilakukan secara manual menggunakan alat ukur terpisah. Untuk data daya listrik, terdapat powermeter yang dihubungkan ke AHU. Operator mencatat daya listrik yang digunakan oleh motor AHU secara berkala. Untuk data pengukuran suhu dan kelembapan, bisa didapatkan dari data logger.

C. Cara Pengoperasian AHU dengan BAS

Pada pengoperasian sistem AHU yang terintegrasi dengan BAS, pengaturan dilakukan secara otomatis untuk mencapai kondisi ruang yang optimal. Sistem otomatis menyala sesuai jadwal yang telah diatur. Ketika AHU diaktifkan, damper akan terbuka agar udara masuk ke AHU. Fan AHU menyala lalu mengalirkan udara ke dalam sistem ducting. Duct temperature sensor mengukur suhu udara. Jika udara terlalu panas, Motorized Valve (MCV) akan membuka aliran air dingin ke cooling coil untuk mendinginkan udara. Jika suhu sudah sesuai, MCV akan menutup otomatis untuk menghemat energi. Duct humidity sensor mendeteksi kelembapan, jika kelembapan melebihi setpoint maka dehum akan aktif untuk mengurangi kelembapan. Differential pressure sensor akan memantau tekanan udara di dalam ducting. Jika terlalu tinggi, Motorized Damper (MVD) akan

terbuka untuk mengurangi tekanan. Jika tekanan terlalu rendah, MVD akan menutup untuk menjaga stabilitasnya. Sementara itu, untuk mengontrol kecepatan fan terdapat air flow sensor yang akan mengukur aliran udara. VFD menyesuaikan kecepatan fan sesuai kebutuhan untuk menghemat energi. Semua data dari sensor dikirim ke BAS untuk dipantau operator. Jika ada gangguan, sistem akan memberi alarm dan bisa ditangani lebih cepat.

3. Perhitungan dan Analisa

A. Hasil Data *Monitoring*

1. Tanpa BAS

Hasil data *monitoring* dengan sistem yang tanpa BAS ini diperoleh langsung dari hasil pengecekan operator selama satu bulan kemudian diambil nilai rata-rata suhu, RH, dan daya. Berikut terlampir data rata-rata yang diperoleh dari pengecekan dengan pengoperasian tanpa BAS selama satu bulan pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Data Aktual Tanpa BAS

Kode Unit	Zona	Monitoring		P (kW)
		RH (%)	Temp. (°C)	
AHU-Z1-PW-1 ; AHU-Z1-PC-1 ; DH-01	Zona 1	42,5	23	65,5
AHU-Z5-PW-1~2 ; AHU-Z5-PC-1 DH-02~03	Zona 5	42,5	23	130,5
AHU-Z4.2-PB1&6	Zona 4.2	47,4	23	65,4
AHU-Z4.2-PB2~5	Zona 4.2	47,5	23	129,5
AHU-Z4.2-PB7~11	Zona 4.2	47,6	23	160,5

2. Dengan BAS

Hasil data pemantauan pengoperasian dengan BAS, data diperoleh dari hasil monitoring pada sistem BAS. Data yang diambil yaitu data temperatur, kelembapan relatif, dan daya yang

dikonsumsi selama satu bulan kemudian dirata-rata. Berikut terlampir data rata-rata yang diperoleh dari monitoring dengan BAS selama satu bulan disajikan dalam tabel 4.

Tabel 4 Hasil Data Monitoring dengan BAS

Kode Unit	Zona	Monitoring		P (kW)
		RH (%)	Temp. (°C)	
AHU-Z1-PW-1 ; AHU-Z1-PC-1 ; DH-01	Zona 1	40,5	21	60,5
AHU-Z5-PW-1~2 ; AHU-Z5-PC-1 ; DH-02~03	Zona 5	40,5	21	117,5
AHU-Z4.2-PB1&6	Zona 4.2	47,6	21	57,1
AHU-Z4.2-PB2~5	Zona 4.2	47,4	21	113,5
AHU-Z4.2-PB7~11	Zona 4.2	47,6	21,1	140,6

3. Penghematan *Monitoring* yang dicapai

Berdasarkan hasil data yang diperoleh dari pemantauan antara sistem AHU yang dioperasikan secara manual dan dengan sistem BAS, maka didapatkan hasil daya yang dapat dihemat dengan BAS dalam

satu bulan dioperasikan selama 24 jam. Efisiensi tersebut dapat dinyatakan dengan rumus 2.5 seperti berikut ini:

$$kWh = (P_{total\ manual} - P_{total\ BAS}) \times 24 \times 30$$

$$kWh = (65,6 - 60,5) \times 24 \times 30$$

$$kWh = 3.672\ kWh$$

Untuk persen penghematan yang didapat, dinyatakan dengan rumus sebagai berikut.

$$\eta = \frac{(P_{\text{total manual}} - P_{\text{BAS}})}{P_{\text{total Manual}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{(65,6 - 60,5)}{65,5} \times 100\%$$

$$\eta = 7,8\%$$

Perbandingan hasil aktual dengan pengoperasian tanpa BAS dan BAS serta efisiensi energi yang didapat, disajikan dalam tabel 5 berikut.

Tabel 5 Perbandingan Hasil Monitoring Tanpa BAS dan dengan BAS

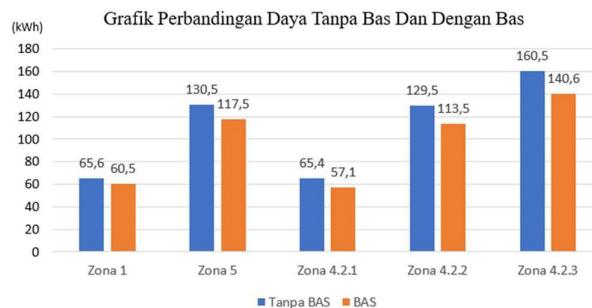
Kode Unit	Tanpa BAS			BAS			Efisiensi	
	Temp	RH	P	Temp	RH	P		
	°C	%	kW	°C	%	kW		
AHU-Z1-PW-1; AHU-Z1-PC-1; DH-01	23	42,5	65,6	21	40,5	60,5	3.672	7,8
AHU-Z5-PW-1~2; AHU-Z5-PC-1 DH-02~03	23	42,5	130,5	21	40,5	117,5	9.360	10
AHU-Z4.2-PB1&6	23	47,6	65,4	21	47,4	57,1	5.976	12,7
AHU-Z4.2-PB2~5	23	47,5	129,5	21	47,4	113,5	11.520	12,4
AHU-Z4.2-PB7~11	23	47,6	160,5	21,1	47,6	140,6	14.328	12,4

4. Analisa Sistem AHU dengan BAS dan Manual

Grafik pada gambar 3 menunjukkan perbandingan konsumsi daya antara sistem yang menggunakan BAS dan tanpa BAS. Zona 1 memiliki daya terendah dibanding zona lain, tetapi juga efisiensi paling kecil karena adanya dehumidifier yang tidak diefisiensikan. Zona 5 memiliki konsumsi daya tinggi dengan efisiensi menengah, menandakan bahwa meskipun BAS mengurangi konsumsi, namun karena adanya 2 unit dehum yang tidak diefisiensikan menyebabkan konsumsi daya masih besar. Zona 4.2.1, 4.2.2, dan 4.2.3 konsumsi daya antara sistem tanpa BAS dan dengan BAS ada pengurangan yang signifikan dan menunjukkan efisiensi tertinggi dibanding zona lain. Hal ini disebabkan tidak ada dehum yang menyumbang konsumsi daya besar namun tidak diefisiensikan.

Pada saat mode pengoperasian masih manual, daya yang dikonsumsi tentu lebih tinggi jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan BAS. Hal ini terjadi karena motor tidak mendapat pengaturan untuk memutar kipas sesuai

dengan kebutuhan, sehingga bergerak dengan kecepatan maksimal dan mempengaruhi konsumsi daya yang menjadi maksimal pula. Sedangkan BAS dapat mengatur kecepatan kipas secara dinamis menggunakan VFD, yang menyesuaikan putaran motor berdasarkan kebutuhan aktual, sehingga tidak ada energi yang terbuang. Berikut grafik efisiensi daya antara sistem BAS dan tanpa BAS.



Gambar 3 Grafik Efisiensi BAS dan Tanpa BAS

B. Hasil Data Teoritis

1. Sistem Tanpa BAS

Perhitungan teoritis sistem AHU dengan pengoperasian secara manual adalah dengan menjumlahkan semua daya motor yang ada pada sistem yaitu daya pada AHU dan dehum atau *electric heater* di mana pada pengoperasian manual, motor bekerja dengan daya maksimal. Rumus yang digunakan untuk perhitungan ini, seperti berikut.

$$\begin{aligned} P_{\text{total manual}} &= (\text{jumlah AHU PC} \times P_{\text{AHU PC}}) \\ &+ (\text{jumlah AHU PW} \times P_{\text{AHU PW}}) \\ &+ (\text{jumlah dehum} \times P_{\text{Dehum}}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{total manual}} &= (1 \times 1,1) + (1 \times 15) + (1 \times 49,3) \\ P_{\text{total manual}} &= 65,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan teoritis sistem AHU dengan pengoperasian manual disajikan pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Pengoperasian Tanpa BAS

Zona	Kode Unit	Jumlah	P _{unit}	P _{total manual}
		(Unit)	kW	kW
Zona 1	AHU Z1-PW-1	1	15	65,4
	AHU Z1-PC-1	1	1,1	
	DH-01	1	49,3	
Zona 5	AHU Z5-PW-1&2	2	15	129,7
	AHU Z5-PC-1	1	1,1	
Zona 4.2 1	DH-02&3	2	49,3	64
	AHU Z4.2 PB1&6	2	11	
	Heater	2	21	
Zona 4.2 2	AHU Z4.2 PB2~5	4	11	128
	Heater	4	21	
	AHU Z4.2 PB7~11	5	11	
Zona 4.2 3	Heater	5	21	160

2. Sistem dengan BAS

Untuk pengoperasian dengan BAS, perhitungan daya dilakukan menggunakan hukum kipas kubik. Data daya dan kecepatan putaran kipas sebelum

penggunaan BAS tercantum dalam seleksi unit masing-masing peralatan, sedangkan data kecepatan putaran kipas setelah penggunaan BAS dapat diperoleh melalui kurva kipas AHU.

Tabel 7 Hasil Perhitungan Pengoperasian BAS

Zona	Kode Unit	Jumlah	N ₁	N ₂	P ₁	P _{total BAS}
		(Unit)	RPM	RPM	kW	kW
Zona 1	AHU Z1-PW-1	1	2430	2072	15	58,84
	AHU Z1-PC-1	1	2400	1450	1,1	
	DH-01	1	-	-	49,3	
Zona 5	AHU Z5-PW-1&2	2	2430	2049	15	116,91
	AHU Z5-PC-1	1	3330	2210	1,1	
	DH-02&3	2	-	-	49,3	
Zona 4.2 1	AHU Z4.2 PB1&6	2	3060	2635	11	56,05
	Heater	2	-	-	21	
Zona 4.2 2	AHU Z4.2 PB2~5	4	3060	2635	11	112,10
	Heater	4	-	-	21	
Zona 4.2 3	AHU Z4.2 PB7~11	5	3060	2635	11	140,12
	Heater	5	-	-	21	

3. Penghematan yang Dicapai

Berdasarkan hasil data yang diperoleh dari perhitungan konsumsi energi antara sistem AHU yang dioperasikan tanpa BAS dan yang dengan sistem BAS, maka dapat diketahui jumlah

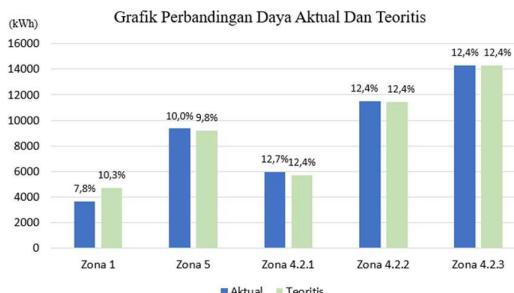
total efisiensi dengan mangkalkulasikan semua daya yang ada di masing-masing zona lalu selanjutnya dapat diketahui persen penghematannya. Hasil efisiensi teoritis disajikan dalam tabel 8.

Tabel 8 Hasil Efisiensi Teoritis

Zona	P _{Manual}	P _{BAS}	Efisiensi	
	kW	kW	kWh	%
Zona 1	65,4	58,84	4.723,2	10,3
Zona 5	129,7	116,91	9.208,8	9,86
Zona 4.2.1	64	56,04	5.731,2	12,43
Zona 4.2.2	128	112,08	11.462,4	12,43
Zona 4.2.3	160	140,1	14.328	12,43

4. Analisa Sistem AHU dengan BAS dan Manual Secara Teoritis dan Aktual

Berdasarkan perhitungan teoritis yang telah dilakukan sebelumnya, daya yang dikonsumsi dan potensi penghematan energi pada sistem HVAC di pabrik wafer disajikan dalam grafik berikut.



Gambar 4 Grafik Perbandingan Daya Aktual dan Teoritis

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa pada zona 1 efisiensi aktual hanya 7,8% sedangkan hasil teoritis 10,3%. Perbedaan yang cukup signifikan ini bisa disebabkan oleh perangkat yang lebih sedikit dan beban tetap seperti dehum yang tidak diefisiensikan membuat penghematan tidak seoptimal zona lain. Selain itu, pada kondisi nyata bisa berbeda dengan teori karena ada perubahan suhu atau kelembapan yang membuat AHU dan dehum bekerja lebih berat untuk memutar motor dari perkiraan. Meskipun efisiensinya lebih rendah dari teoritis, BAS tetap menghemat daya di zona 1.

Pada zona 5 efisiensi aktual mencapai 10% sedangkan hasil teoritis

9,86% dengan selisih yang sangat kecil. Ini menandakan bahwa sistem BAS di zona ini berjalan dengan cukup sesuai dengan estimasi.

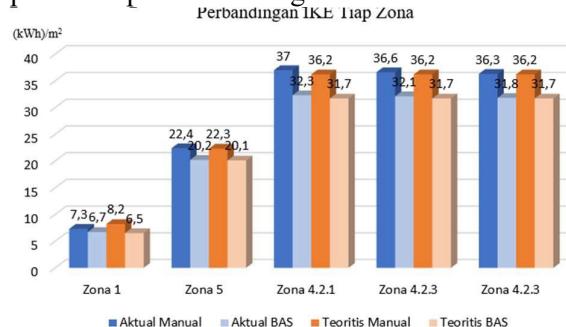
Pada zona 4.2.1 sampai 3, memiliki efisiensi tertinggi berkisar 12,4% sampai 12,7%. Hal ini dikarenakan pada zona ini tidak menggunakan dehum yang pada zona lain menjadi penyumbang konsumsi daya yang besar tanpa optimalisasi BAS. Efisiensi aktual dan teoritis cukup mirip, menunjukkan bahwa sistem BAS bekerja optimal sesuai dengan estimasi perhitungan.

Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa BAS berhasil mengoptimalkan penggunaan daya secara efektif. Hasil aktual menunjukkan efisiensi yang relatif mendekati perhitungan teoritis, membuktikan bahwa penggunaan BAS mampu meningkatkan efisiensi energi dan secara signifikan mengurangi konsumsi listrik. Selain itu, perhitungan teoritis dapat dijadikan sebagai estimasi yang cukup akurat dalam menilai potensi penghematan energi yang dihasilkan oleh BAS.

C. Analisa IKE

Setelah mengetahui konsumsi daya sistem HVAC pada masing-masing zona, langkah selanjutnya adalah menganalisis Indeks Kinerja Energi (IKE) untuk mengevaluasi efisiensi energi. Nilai IKE ini mencerminkan tingkat efisiensi energi pada

sistem HVAC yang digunakan dalam area tertentu. Dapat dilihat variasi nilai IKE pada setiap zona dalam grafik berikut ini.



Gambar 5 Grafik Perbandingan Nilai IKE Tiap Zona

Dari grafik pada gambar 4.3 diketahui bahwa nilai IKE zona 5 dan zona 4.2 tergolong tinggi atau boros dengan nilai diatas 18,5 kWh/m². Ini menunjukkan bahwa untuk area kecil tersebut, sistem HVAC mengkonsumsi energi yang sangat besar untuk setiap meter persegi yang dilayani. Nilai IKE ini bisa besar karena perhitungan terhadap IKE tidak mempertimbangkan tinggi ruangan. Selain itu, nilai IKE yang tinggi ini memang wajar terjadi karena sistem dirancang untuk bekerja dengan beban tersebut agar memenuhi standar yang ditetapkan.

Sedangkan nilai IKE terendah terdapat pada zona 1 yang menghasilkan nilai IKE 6,56 kWh/m². Ini menunjukkan bahwa sistem HVAC lebih efisien dalam penggunaan energi untuk area yang lebih besar. Faktor yang mendukung hal ini mungkin adalah pengaturan sistem yang lebih tepat atau penggunaan alat yang lebih efisien dalam ruangan yang lebih luas.

D. Faktor yang Mempengaruhi Penghematan Energi pada BAS

1. Penggunaan VFD

Pada sistem BAS, kecepatan motor sudah tidak lagi konstan karena terdapat VFD yang dapat mengontrol kecepatan motor dengan menyesuaikan frekuensi dan tegangan yang diberikan ke motor sehingga kecepatan putaran kipas diatur sesuai kebutuhan dan tidak ada konsumsi daya berlebih. Tanpa VFD, motor bekerja pada

daya maksimum untuk menggerakan kipas dengan kecepatan penuh.

Pada gambar 6, menunjukkan bahwa pengurangan kecepatan putaran kipas menjadi 90% dari kecepatan awal hanya mengkonsumsi daya sekitar 72,9% dari daya maksimal. Hal ini dapat menghemat daya hingga 27,1% dari konsumsi daya tanpa BAS. Begitupun saat putaran di 80% hanya mengkonsumsi 51,2% daya dari pengoperasian manual, yang mana penghematan yang diperoleh adalah 48,8%. Penggunaan VFD memberikan dampak terbesar terhadap penghematan energi, dengan rata-rata pengurangan konsumsi daya sebesar 30% – 50% dibandingkan dengan sistem tanpa VFD.

Semakin rendah kecepatan putaran kipas, semakin kecil konsumsi daya dan akan semakin besar penghematan yang diperoleh. Berikut terlampir grafik pengaruh kecepatan putaran kipas terhadap konsumsi daya.



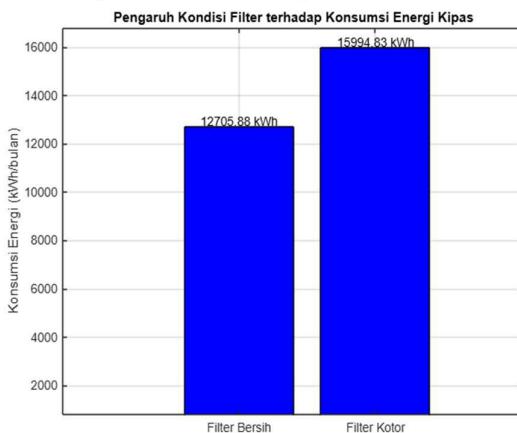
Gambar 6 Pengaruh Kecepatan Fan terhadap Konsumsi Daya

2. Pengaruh Efisiensi Filter AHU

Filter pada AHU berfungsi untuk menyaring debu dan partikel dari udara sebelum masuk ke sistem HVAC. Seiring waktu, filter akan kotor dan menyebabkan *pressure drop* (penurunan tekanan) meningkat antara sisi sebelum dan sesudah filter. Peningkatan penurunan tekanan ini berdampak pada menurunnya aliran udara ke dalam ruangan. Oleh karena itu, kipas perlu bekerja lebih keras untuk menaikkan putarannya agar mempertahankan aliran

udara tetap stabil. Akibatnya daya yang dibutuhkan oleh kipas akan meningkat.

Dapat dilihat bahwa dalam kondisi filter bersih, daya yang dikonsumsi kipas lebih rendah karena penurunan tekanannya rendah. Sedangkan saat kondisi filter kotor, konsumsi daya akan meningkat karena penurunan tekanan bertambah. Filter yang kotor menyebabkan kenaikan konsumsi energi hingga 20,56% dibandingkan kondisi filter bersih. Gambar 7 mempresentasikan pengaruh kondisi filter terhadap konsumsi energi.



Gambar 7 Pengaruh Kondisi Filter terhadap Konsumsi Energi

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penerapan BAS berpengaruh terhadap potensi penghematan energi pada sistem HVAC, dengan estimasi penghematan berkisar antara 3.672 kWh hingga 14.328 kWh.
2. Efisiensi konsumsi energi meningkat 7,8% hingga 12,4% setelah penerapan BAS. Namun nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) masih tergolong tinggi, yang kemungkinan disebabkan oleh faktor seperti tinggi ruangan yang tidak diperhitungkan.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi penghematan energi pada sistem HVAC dengan BAS adalah penggunaan VFD yang berkontribusi terhadap penghematan energi sebesar 30-50% dan efisiensi filter AHU yang mempengaruhi hingga 20,56% terhadap konsumsi energi.

5. Daftar Pustaka

- [1] Zainal. "Perencanaan Instalasi Listrik di Gedung Berbasis Building Automation System" Skripsi, 2018.
- [2] P. Gagani, "Studi Penggunaan Sistem Otomasi Terintegrasi Gedung (BAS) pada Apartemen," Jurnal Teknik Elektro ITP, vol. 4, no. 2, pp. 7–16, 2018.
- [3] ASHRAE Technical Committee, ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications (Inch-Pound Edition). Atlanta, GA, USA: ASHRAE, 2015.
- [4] ASHRAE Technical Committee 9.11, ASHRAE Design Guide for cleanrooms: Fundamentals, Systems, and Performance. Atlanta, GA, USA: ASHRAE, 2017.
- [5] D. B. Kahn et al., ASHRAE Guideline 13-2015: Specifying Building Automation Systems. Atlanta, GA, USA: ASHRAE, 2015. D. B. Kahn et al., ASHRAE Guideline 13-2015: Specifying Building Automation Systems. Atlanta, GA, USA: ASHRAE, 2015.
- [6] Dehumidification Technologies: Overview of Refrigerant and Desiccant Systems. ASHRAE Journal, Vol. 62, No. 4, 2020.
- [7] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM). Peraturan Menteri ESDM No. 03 Tahun 2012 tentang Kriteria dan Standar Kinerja Energi Bangunan Gedung. 2012.
- [8] Kieback Peter, Manual PS4000 V4.5.0 Functions, 1st ed. Berlin, Germany: Kieback Peter, 2020. USAID Indonesia Clean Energy Development. Energy Efficiency Handbook. 2014.
- [9] P. Domingues, P. Carreira, R. Vieira, and W. Kastner, "Building automation systems: Concepts and technology review," Computers & Standards & Interfaces, vol. 45, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1016/j.csi.2015.11.005.
- [10] T. Prianto, "Penerapan Penggunaan Building Automation System untuk Pengoperasian Chiller di Bandara Syamsudin Noor," Skripsi, Universitas Islam Kalimantan, 2021.