

Audit Energi Sistem Tata Udara pada Gedung Perkantoran Wisma Slipi Jakarta

Arka Dwinanda Soewono*, Widharto dan Marten Darmawan

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Jenderal Sudirman 51, Jakarta, 12930, Indonesia

*E-mail: arka.soewono@atmajaya.ac.id

Diterima: 28-10-2021; Direvisi: 06-04-2022; Dipublikasi: 30-04-2022

Abstrak

Konsumsi energi listrik di dalam gedung perkantoran dibutuhkan untuk menunjang kegiatan operasional dapat berjalan dengan normal. Kebutuhan energi listrik untuk bangunan harus dioptimalkan berdasarkan parameter Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Kebutuhan energi listrik paling besar pada gedung perkantoran pada umumnya dipakai oleh sistem tata udara sehingga diperlukan perhatian khusus dalam hal optimalisasi pemakaian energi listrik pada komponen sistem pendingin. Mempertimbangkan bahwa hasil perhitungan IKE gedung Wisma Slipi termasuk dalam kategori boros, penelitian ini bertujuan untuk melakukan audit energi sistem pendingin udara sentral pada gedung tersebut. Hasil perhitungan Intensitas Konsumsi Energi bangunan adalah 19,11, yang dapat dikategorikan sebagai boros. Hasil audit sistem tata udara menemukan bahwa *chiller* tidak lagi beroperasi dalam kondisi optimal dengan COP berkisar antara 2,5 dan 3,0 dikarenakan umur peralatan yang sudah 28 tahun. Demikian pula *Air Handling Unit* and *Chilled Water Pump* juga menunjukkan tanda-tanda penurunan kinerja karena keausan. Oleh karena itu, audit energi merekomendasikan *chiller* untuk diganti dengan model yang lebih baru karena menggunakan persentase energi tertinggi. Berdasarkan hasil analisis, peluang penghematan energi dari penggantian unit *chiller* adalah sebesar 30,6% dengan *Break Even Point* (BEP) sekitar 4,8 tahun.

Kata kunci: audit energi; *chiller*; konsumsi energi; sistem pengkondisian udara; *break-even period*

Abstract

Electrical energy consumption in office buildings is required to support operational activities. Thus, its energy usage must be optimized based on the Energy Consumption Intensity index. The largest electrical consumption in office buildings is generally used by the air conditioning system. As such, optimizing the use of electrical energy in the building cooling system has to be done. The preliminary audit showed that the Energy Consumption Intensity of the Wisma Slipi office building is 19.11, which can be categorized as wasteful based on the current standard. Therefore, the main purpose of this study is to conduct an energy audit for the central air conditioning system of the Wisma Slipi. The energy audit on the air conditioning system found that the chiller is no longer operating in optimal conditions due to the age of the equipment, with the measured COP ranging between 2.5 and 3.0. Similarly, the Air Handling Unit and Chilled Water Pump exhibit decreasing performance due to wear and tear. Therefore, the energy audit recommends replacing the chillers with a newer model since they usually consume the largest percentage of electricity. The Break-Even Point (BEP) analysis shows that the potential energy saving from replacing the chiller units in the Wisma Slipi is 30.6%, with a break-even period of 4.8 years.

Keywords: *air conditioning system; break-even period ; chiller; energy audit; energy consumption*

1. Pendahuluan

Audit energi merupakan alat penting untuk mengurangi penggunaan energi untuk gedung perkantoran, mengendalikan biaya utilitas, dan meminimalkan jejak karbonnya. Namun, penerapan pengurangan energi pada bangunan harus tetap memberikan pendinginan dan ventilasi yang cukup untuk menciptakan lingkungan yang nyaman bagi penghuni bangunan [1]. Audit energi akan memberikan analisis terperinci tentang area bangunan mana yang mengkonsumsi sebagian besar energi listrik, yang menunjukkan di mana penghematan energi tertinggi dapat dicapai secara potensial.

Secara umum, sebagian besar konsumsi energi listrik di gedung perkantoran digunakan untuk pengkondisian udara untuk memastikan tingkat kenyamanan termal (*thermal comfort*) di dalam ruangan bagi penghuni [2]. Di negara yang panas dan lembab, sistem HVAC menggunakan sekitar 50%-70% dari total konsumsi energi bangunan [3, 4], dan hingga 40%

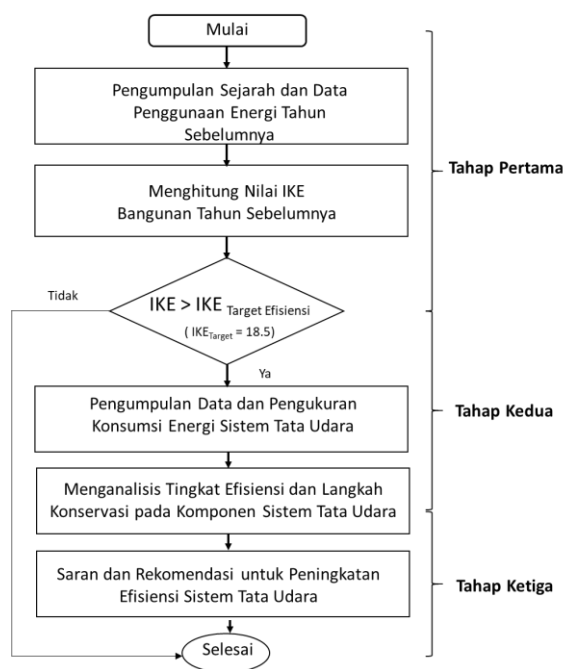
dikonsumsi oleh sistem pendingin udara dan *chiller* [5, 6]. Karena tingkat penggunaan energi yang tinggi dan potensi penghematan energi yang besar, sistem pendingin udara seringkali menjadi fokus utama dalam audit energi. Penghematan energi listrik dapat dicapai hanya dengan mengurangi penggunaan energi di berbagai area kantor yang tingkat kehilangan energinya tinggi [7, 8] atau memasang sistem pendingin udara dan *chiller* dengan efisiensi yang lebih baik [9, 10]. Metode penghematan energi potensial lainnya termasuk mengubah parameter operasi *chiller* dan penggunaan pompa variabel dalam sistem pendingin udara [11, 12]. Diharapkan analisis energi audit sistem pendingin udara pada gedung perkantoran dapat menghasilkan penghematan energi yang maksimal, mengurangi biaya operasional gedung dan meminimalkan emisi gas rumah kaca [13].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk melakukan audit energi untuk sistem pendingin udara di gedung perkantoran Wisma Slipi yang terletak di Jakarta Barat, Indonesia. Audit energi dilakukan baik melalui observasi dan pengukuran lapangan dengan fokus pada *chiller*, *Air Handling Unit* (AHU) dan pompa air dingin (*Chilled Water Pump*) yang merupakan komponen utama sistem tata udara di gedung tersebut. Pada proses audit energi, tingkat efisiensi *chiller* dianalisis berdasarkan perhitungan *Coefficient Of Performance* (COP). Hasil pengukuran perbedaan suhu di *inlet* dan *outlet* dan kecepatan putaran pompa digunakan sebagai indikator kinerja dan tingkat efisiensi *Air Handling Unit* dan *Chilled Water Pump*. Proses audit energi juga mengidentifikasi peluang penghematan energi yang dapat diaplikasikan pada sistem tata udara gedung Wisma Slipi yang dilengkapi dengan analisis *Break-Even Point* (BEP).

2. Material dan metodologi

2.1. Metode Audit Energi

Metode audit energi yang digunakan berbasis metode observasi kualitatif dan metode analitis dimana pengukuran dan perhitungan konsumsi energi akan dilakukan secara menyeluruh ke seluruh ruangan yang ada pada gedung Wisma Slipi. Studi deskriptif analitis juga diterapkan pada saat proses pengambilan dan pengukuran data untuk peralatan sistem pengkondisian udara dengan menggunakan berbagai teknik pengukuran yang sesuai yang kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat kinerja dan efisiensi dari sistem tata udara data pada gedung tersebut. Proses audit energi dilaksanakan pada periode Juli 2020-April 2021. Prosedur audit energi yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode Audit Energi

Proses audit energi melibatkan tiga langkah utama. Langkah pertama meliputi survei awal bangunan, pengumpulan data primer seperti data sejarah penggunaan energi pada gedung, dan pengumpulan data sekunder (profil perusahaan, jumlah penghuni, jam kerja, jumlah dan spesifikasi peralatan). Berdasarkan data konsumsi energi dari tahun sebelumnya dan informasi tentang luas bangunan gedung, Intensitas Konsumsi Energi (IKE) tahunan dan bulanan dapat dihitung sebagai berikut:

$$IKE_{\text{tahunan}} = \text{Konsumsi Listrik Tahunan} / \text{Luas Bangunan} \quad (1)$$

$$IKE_{\text{bulanan}} = IKE_{\text{tahunan}} / 12 \quad (2)$$

Tingkat konsumsi energi akan diukur ke seluruh ruangan pada gedung. Namun, untuk menentukan besarnya konsumsi energi tiap ruangan akan digunakan besaran konsumsi energi (kWh) tiap satuan luas (meter persegi). Berdasarkan Permen ESDM No.13 Tahun 2012 tentang penghematan pemakaian tenaga listrik [14], standar klasifikasi Intensitas Konsumsi Energi untuk gedung perkantoran yang menggunakan AC dapat dilihat pada Tabel 1. Jika nilai IKE lebih besar dari 18,5 maka bangunan dikategorikan boros dalam menggunakan energi listrik dan disarankan untuk menerapkan strategi hemat energi [15].

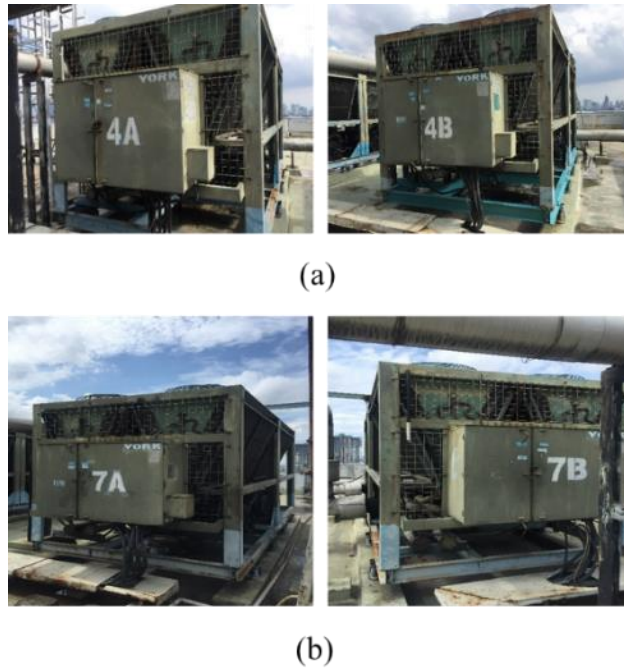
Tabel 1. Standar Intensitas Konsumsi Energi untuk Gedung Kantor Ber-AC

Kriteria	Intensitas Konsumsi Energi (kWh/m ² /bulan)
Sangat Efisien	< 8,5
Efisien	8,5 – 14,0
Cukup Efisien	14,0 – 18,5
Boros	>18,5

Setelah audit pendahuluan dilakukan, langkah kedua adalah melakukan audit energi secara rinci, khususnya untuk sistem tata udara. Pengumpulan data dilakukan pada komponen utama sistem pendingin udara: *Chiller*, *Air Handling Unit* (AHU), dan *chiller water pump*. Efisiensi *chiller*, perbedaan suhu pada *inlet* (setelah melalui *chiller*) dan *outlet* (sebelum melalui *chiller*) AHU, dan *chiller water pump* diukur dan dihitung. Pengukuran data di lapangan dilakukan secara bertahap selama 8 bulan mulai dari bulan Juli 2020 – Maret 2021 Berdasarkan penilaian tingkat efisiensinya, opsi terkait peluang penghematan energi untuk sistem pendingin udara dapat dirumuskan. Langkah terakhir dari audit energi melibatkan penyusunan dan penyajian laporan akhir, termasuk merekomendasikan peningkatan yang memerlukan investasi modal yang cukup signifikan, seperti mengganti peralatan dengan model yang lebih efisien untuk mengurangi penggunaan energi.

2.2. Pengumpulan Data untuk Sistem Pendingin Udara

Berdasarkan standar ASHRAE dan data total luas area gedung Wisma Slipi, kapasitas atau beban pendinginan total yang diperlukan sebesar 708,4 TR. Dikarenakan sistem pendingin di gedung Wisma Slipi dibagi menjadi dua zona yaitu zona AS 4 dan zona AS 7, beban pendinginan pada masing-masing zona sebesar 354,2 TR. Untuk memenuhi kebutuhan beban termal tersebut, setiap zona dilengkapi dengan dua unit *chiller* York tipe YCAH 19 (unit A dan B) dengan kapasitas pendinginan masing-masing sebesar 200 TR, tiga unit *chilled water pump*, dan lima belas unit *Air Handling Unit* (AHU). Gambar 2 menunjukkan dua unit *chiller* yang terpasang di setiap zona. Adapun data yang diukur untuk setiap *chiller* adalah debit air dan suhu pada pipa *inlet* dan *outlet* (*Supply* dan *Return Line*) serta tekanan refrigeran di bagian *suction* dan *discharge* kompresor. Debit air diukur dengan *flowmeter* ultrasonik. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termokopel sedangkan pengukuran tekanan refrigeran menggunakan *pressure transducer*.



Gambar 2. Chiller Merk York Tipe YCAH 19 Di Zona AS 4 (a) dan AS 7 (b)

Untuk *Air Handling Unit* (AHU), pengukuran dilakukan dengan menggunakan termokopel dan termometer inframerah untuk mendapatkan nilai temperatur *inlet* dan *outlet* AHU coil. Selisih suhu yang dihasilkan pada koil kemudian dibandingkan dengan perbedaan suhu ideal sebesar 5°F untuk koil pendingin air dingin AHU berdasarkan standar ASHRAE 90.1. Putaran motor pompa diukur menggunakan tachometer inframerah untuk mengukur kinerja *Chilled Water Pump* (CHWP). Selama analisis, diasumsikan bahwa efisiensi pompa berbanding lurus dengan putaran pompa: semakin tinggi putaran motor, semakin tinggi efisiensi pompa.

2.3. Analisis Peluang Penghematan Energi dan Break-Even Period

Prosedur audit energi pada gedung di Indonesia telah dibakukan dalam Standard Nasional Indonesia (SNI) No. 03-6196-2000. Sebagai bagian dari proses audit energi, peluang penghematan energi untuk sistem tata pengkondisian udara di gedung Wisma Slipi telah diidentifikasi. Berdasarkan hasil audit energi yang telah dilakukan pada penelitian- penelitian sebelumnya untuk sistem tata udara berbasis centralized air conditioning di gedung perkantoran bertingkat, konsumsi energi listrik terbesar biasanya diserap oleh *chiller*. Oleh sebab itu, langkah paling efektif untuk merevitalisasi sistem tata udara Wisma Slipi dalam rangka penghematan energi adalah dengan mengganti unit *chiller* model lama yang terpasang saat ini dengan model yang lebih baru dan efisien.

Mengingat proses penggantian *chiller* yang memerlukan investasi yang cukup signifikan, analisis keuangan berdasarkan metode *Break-Even Period* (BEP) untuk simulasi penggantian *chiller* juga dilakukan. Analisis BEP mengikuti metode yang dilakukan oleh Kaya dan Alidrisi [9] di mana lamanya *Break-Even Period* dapat dihitung berdasarkan total biaya investasi untuk pembelian *chiller* model baru dan potensi dari penghematan biaya listrik yang didapat dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Break Even Period} = \frac{\text{Total Biaya Unit Chiller Model Baru}}{\text{Total Estimasi Penghematan Listrik dalam Satu Tahun}} \quad (3)$$

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Perhitungan Konsumsi Energi

Berdasarkan survei awal, energi listrik di Wisma Slipi terutama digunakan untuk penerangan, pengoperasian lift, komputer, dan pendingin ruangan. Kebutuhan energi gedung yang diwakili oleh Intensitas Konsumsi Energi (IKE), dapat ditentukan dari data historis konsumsi listrik gedung dan total luas bangunan. Survei audit energi menemukan bahwa total konsumsi listrik untuk Wisma Slipi pada tahun sebelumnya adalah 4.746.830 kWh, dan total luas bangunan adalah 20.700 m². Dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), ECI tahunan dan bulanan dapat dihitung sebagai berikut:

$$IKE_{\text{tahunan}} = 4.746.830 \text{ kWh} / 20.700 \text{ m}^2 = 229,32$$

$$IKE_{\text{bulanan}} = 229,32 : 12 = 19,11$$

Terlihat bahwa nilai IKE bulanan sebesar 19,11 untuk gedung Wisma Slipi. Nilai ini di atas standar IKE 18,5. Berdasarkan standar pemerintah saat ini, konsumsi listrik Wisma Slipi dapat tergolong boros.

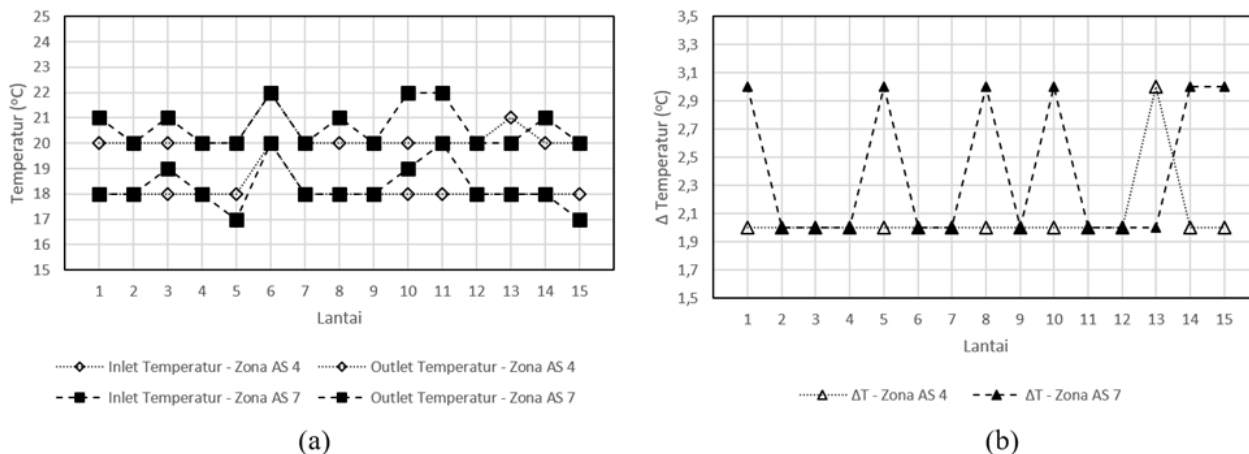
3.2. Hasil Audit Energi Sistem Pengkondisian Udara

Tabel 2 merangkum hasil pengukuran tekanan dan suhu di dalam pipa *suction* dan *discharge chiller*. COP dari masing-masing chiller dapat dihitung berdasarkan metode entalpi (*enthalpy*). Informasi suhu dan tekanan pada jalur *suction* dan *discharge* digunakan untuk mencari entalpi pada *inlet* dan *outlet* evaporator dan kompresor. Dari data entalpi, kalor yang diserap pada evaporator dan kerja yang dibutuhkan oleh kompresor dapat diketahui sehingga COP untuk masing-masing *chiller* dapat dihitung. Dapat diamati bahwa kisaran COP dari *air cooled chiller* model lama yang dilengkapi dengan kompresor tipe *reciprocating* yang telah beroperasi selama 28 tahun di gedung Wisma Slipi adalah antara 2,5 – 3,2 yang menurut standar ASHRAE 211-2018 perlu dilakukan *improvement* atau revitalisasi mesin chiller dengan tujuan untuk penghematan energi. Sebagai perbandingan, *air cooled chiller* model terbaru yang menggunakan kompresor tipe *screw* dapat menghasilkan COP antara 3,3 dan 3,5 [12]. Temuan ini menunjukkan bahwa *chiller* yang ada tidak lagi beroperasi dalam kondisi optimal meskipun telah mendapatkan perawatan secara rutin. Selain itu, inspeksi lapangan menemukan bahwa *chiller* unit B di kedua zona juga hanya beroperasi dengan satu kompresor saja kondensornya mengalami kerusakan. Agar dapat bekerja secara optimal, setiap *chiller* idealnya beroperasi dengan kedua kondensor berjalan. Kedua *chiller* tetap dihidupkan karena keduanya diperlukan untuk memastikan kondisi dalam ruangan yang nyaman bagi penghuni gedung di setiap zona. Observasi lapangan juga menunjukkan tanda kerusakan dan adanya karat pada permukaan kondensor di semua *chiller* akibat paparan cuaca. Penumpukan karat dapat mempengaruhi kemampuan disipasi panas pada kondensor karena panas tidak dapat dilepaskan sepenuhnya ke lingkungan sekitarnya yang pada akhirnya meningkatkan tekanan refrigeran. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan nilai COP *chiller* dan peningkatan kebutuhan listrik kompresor [16].

Tabel 2. Data Pengukuran dan COP *Chiller*

Zone	AS 4		AS 4		AS 7		AS 7	
Unit	A		B		A		B	
Kompresor No.	1	2	1	2	1	2	1	2
			(rusak)				(rusak)	
Psuction (kPa)	324,0	379,2	-	358.5	330.9	337.8	-	420.6
Pdischarge (kPa)	1965,0	1916,7	-	2033.9	1999.5	1985.7	-	1792.6
Tsuction (°C)	19.0	18.0	-	19.0	20.0	20.0	-	20.0
Tdischarge (°C)	113.0	101.0	-	109.0	112.0	114.0	-	125.0
COP	3	3.2	-	2.9	3.1	2.8	-	2.5

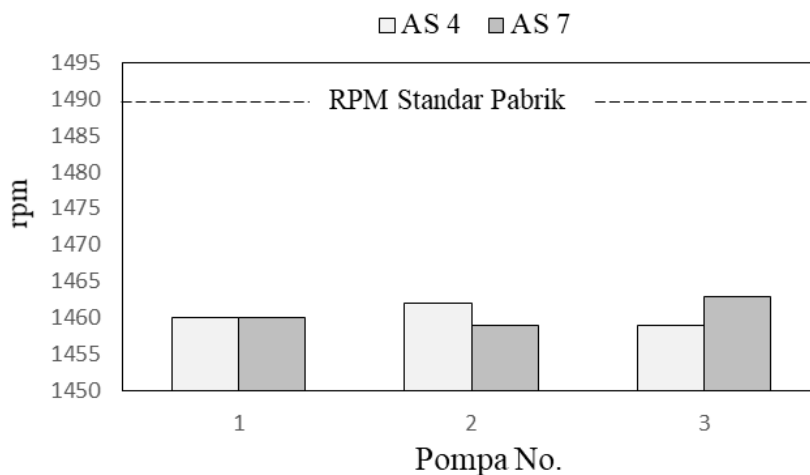
Pengukuran suhu *inlet* dan *outlet* dari kumparan alat penukar panas (*heat exchanger coils*) dilakukan sebagai indikator efisiensi dari *Air Handling Unit* (AHU). Pengukuran dilakukan untuk semua unit AHU di setiap zona dan lantai bangunan dengan tujuan untuk menghitung selisih temperatur pada *outlet* dan *inlet* kumparan. Perbedaan suhu dibandingkan dengan standar ASHRAE 180-2018 untuk menilai kinerja AHU. Gambar 2 menunjukkan hasil pengukuran temperature AHU coils di zona AS 4 dan AS 7.



Gambar 2. Temperatur *Inlet* Dan *Outlet* (a) dan Perbedaan Temperatur (b) AHU Coils

Dari hasil analisis, rata-rata dan *standard error* perbedaan suhu antara *inlet* dan *outlet* AHU coils adalah $3,72 \pm 0,07$ untuk zona AS 4, dan $4,32 \pm 0,13$ untuk zona AS 7. Dibandingkan dengan perbedaan suhu ideal pada kumparan AHU sebesar 10°F berdasarkan standar ASHRAE, perbedaan suhu dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa AHU tidak lagi beroperasi pada kondisi optimal. Audit lapangan juga mengamati adanya akumulasi debu yang signifikan pada permukaan kumparan AHU yang dapat ikut berkontribusi pada penurunan kinerja. Oleh sebab itu, langkah *preventive maintainance* dengan cara membersihkan permukaan kumparan secara rutin perlu dilakukan.

Audit berbasis metode pengukuran juga diaplikasikan pada *Chilled Water Pump* (CHWP). Untuk masing-masing zona terdapat tiga unit pompa *chiller*. Kapasitas masing-masing pompa sebesar 15 kW. Kecepatan putaran motor aktual dari pompa diukur dengan menggunakan Tachometer untuk mengevaluasi performa dari pompa. Hasil pengukuran kecepatan putaran motor pompa *Chilled Water Pump* di gedung Wisma Slipi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kecepatan Rotasi Motor *Chilled Water Pump*

Pompa CHWP di zona AS 4 maupun AS 7 menghasilkan kecepatan putaran rata-rata sebesar 1460,5 rpm. Kecepatan putaran motor aktual dari pompa sekitar 2% lebih rendah dibandingkan dengan standar pabrik sebesar 1490 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa pompa sudah tidak lagi bekerja secara optimal dan dapat mengakibatkan pemborosan listrik. Hasil observasi lapangan juga mencatat bahwa suara pompa cukup kasar yang mungkin mengindikasikan kurangnya pelumasan atau keausan bantalan motor.

3.3. Analisis Break-Event Period Untuk Simulasi Penggantian Chiller

Berdasarkan pertimbangan bahwa konsumsi energi listrik perangkat *chiller* pada umumnya adalah yang terbesar dan hasil pengukuran yang menunjukkan bahwa kedua *chiller* yang ada sudah tidak beroperasi secara optimal, audit energi merekomendasikan kepada manajemen gedung untuk mengganti *chiller* dengan *air-cooled chillers* model terbaru yang dilengkapi dengan *screw compressor* dan memiliki efisiensi lebih tinggi. Selain itu, *chiller* saat ini masih menggunakan refrigeran R22, yang telah dilarang di sebagian besar negara karena menipiskan lapisan ozon dan menyebabkan pemanasan global. *Chiller* model baru yang direkomendasikan sudah menggunakan refrigeran ramah lingkungan R134a. Tabel 3 menunjukkan perbandingan spesifikasi dari *chiller* yang terpasang saat ini (*existing chiller*) dengan *chiller* pengganti (*potential replacement chiller*). Meskipun kapasitas pendinginan dari *chiller* yang sedang terpasang cukup memadai untuk menunjang kegiatan dalam gedung, pergantian *chiller* yang ada (*existing*) dengan *chiller* model baru yang menggunakan *screw compressor* akan memberikan potensi penghematan energi sebesar 30,6%. Penurunan konsumsi listrik (*cooling load*) unit *chiller* pengganti akan berakibat pada penurunan biaya operasional dengan cukup signifikan untuk jangka panjang.

Tabel 3. Spesifikasi *Chiller* Yang Terpasang Dan *Chiller* Pengganti

Spesifikasi	<i>Chiller</i> Yang Terpasang	<i>Chiller</i> Pengganti
Model	<i>Air-Cooled Chiller</i> York Tipe YCAH 19	<i>Air-Cooled Chiller</i> York Tipe YVAA
Tipe Kompresor	<i>Reciprocating Compressor</i>	<i>Screw Compressor</i>
Kapasitas Pendinginan (TR)	200	190
Efisiensi Level @ Full Load (EER)	-	3,17
Level Suara (dBA)	96	95
Daya Listrik (kW)	294	204,2
Beban Pendinginan / <i>Cooling Load</i> (kW/TR)	1,47	1,021 (berdasarkan katalog)

Mempertimbangkan bahwa pembelian *chiller* baru membutuhkan investasi modal yang cukup signifikan, analisis *Break-Even Period* (BEP) untuk penggantian unit *chiller* dilakukan. Tabel 4 merangkum data yang digunakan dalam perhitungan penghematan energi dan analisis BEP. Dengan dasar pertimbangan bahwa *chiller* pada umumnya adalah produk impor sehingga proses pembelian menggunakan harga dalam US dolar (USD), analisis *Break-Even Point* dilakukan dengan menggunakan mata uang untuk mengurangi faktor ketidakpastian (*uncertainty*) pada perhitungan yang disebabkan oleh fluktuasi nilai tukar mata uang. Selain itu, beberapa asumsi yang dibuat dalam analisis BEP yaitu *chiller* bekerja pada kondisi beban pendinginan penuh untuk dapat menjamin kenyamanan termal bagi penghuni dengan temperature level sekitar 24°C di dalam ruangan. Basis dari asumsi ini berasal dari hasil audit awal data konsumsi energi *chiller* di Wisma Slipi selama tiga tahun terakhir. Selain itu, *chiller* juga diasumsikan bekerja selama 12 jam sehari sesuai dengan jam kerja pada hari Senin-Jumat dan tidak beroperasi pada hari Minggu. Analisis BEP juga tidak mempertimbangkan nilai waktu dari uang (*time value of money*) dan suku bunga.

Tabel 4. Data Penggunaan *Chiller* Pengganti Untuk Analisis *Break-Even Period*

No.	Keterangan	Nilai
1	Jumlah <i>Air-Cooled Chiller</i> dengan <i>Screw Compressor</i>	4 unit
2	Jam Operasi <i>Chiller</i> Per Bulan	
	▪ Senin – Jumat	06:00 – 18:00 WIB
	▪ Sabtu	07:00 – 13:00 WIB
	▪ Minggu	Tutup
3	Durasi Pemakaian <i>Chiller</i> pada Kondisi Beban Penuh per Bulan	283,8 jam
4	Nilai Penghematan Energi	0,45 kW/TR
5	Total Penghematan pada Kondisi Beban Penuh per Bulan	90.469,76 kWh
6	Harga Listrik di Indonesia pada bulan Maret 2021(dalam USD)	0,0739 \$/kWh

Pada saat *chiller* beroperasi dalam kondisi beban penuh, gedung dapat menghemat penggunaan energi sebesar 90.469,76 kWh/bulan. Maka, gedung dapat menghemat biaya operasional sebesar 90.469,76 kWh x \$ 0,0739/kWh = \$ 6.685,72/bulan. Dalam satu tahun, gedung akan menghemat biaya operasional sebesar \$ 80.228,59. Penghematan yang dihasilkan oleh penggunaan *chiller* baru pada kondisi beban penuh cukup signifikan dan hampir mendekati harga satu unit *chiller* model baru. Dengan harga satu unit *chiller* sebesar \$ 96.428,57 pada tahun 2021, maka total biaya untuk empat unit *chiller* pengganti sebesar \$ 96.428,57 x 4 = \$ 385.714,29. Maka dari itu, *Break Even Point (BEP)* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3:

$$BEP = \frac{\$ 385.714,29}{\$ 80.228,59} = 4,8 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan *Break Even Point* menemukan bahwa titik impas untuk investasi penggantian empat unit *chiller* baru untuk gedung Wisma Slipi adalah 4,8 tahun. Berdasarkan Permen ESDM No.14 tahun 2012 tentang manajemen energi, rekomendasi penggantian *chiller* termasuk dalam kategori rekomendasi investasi tinggi dikarenakan waktu pengembalian (BEP) lebih dari 4 (empat) tahun dengan dengan kriteria potensi penghematan energi lebih besar dari 20%.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan audit energi pada sistem tata udara di gedung perkantoran Wisma Slipi. Hasil perhitungan berdasarkan data sejarah penggunaan energi menunjukkan bahwa Indeks Konsumsi Energi (IKE) untuk gedung Wisma Slipi berada di level 19,11, di atas standar yang ditetapkan sebesar 18,5. Hal ini berarti bahwa konsumsi energi pada gedung tersebut masuk dalam kategori tidak efisien. Oleh karena itu, perlu diperkenalkan strategi untuk memaksimalkan penggunaan energi bangunan terutama untuk sistem tata udara. Hasil audit menemukan bahwa *chiller* yang merupakan komponen utama dari sistem pengkondisian udara perlu direvitalisasi karena tidak lagi beroperasi secara optimal. Nilai *Coefficient of Performance (COP)* dari *chiller* di gedung Wisma Slipi lebih rendah dari standar ASHRAE. Komponen *Air Handling Unit (AHU)* juga menunjukkan penurunan kinerja yang diindikasikan oleh perbedaan temperatur inlet dan outlet kumparan AHU yang tidak memenuhi standar ASHRAE. Demikian juga dengan *Chilled Water Pump* yang mengalami kehilangan kecepatan putaran pompa bila dibandingkan dengan spesifikasi pabrik. Berdasarkan hasil temuan di atas, rekomendasi terkait langkah paling efektif dalam rangka konservasi energi pada gedung Wisma Slipi adalah dengan melakukan pergantian *chiller* yang sudah ada dengan *chiller* model baru yang dilengkapi dengan *screw compressor* yang

dapat menghasilkan penghematan energi sebesar 90.469,76 kWh/bulan . Hasil analisis *Break Even Point (BEP)* menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian investasi 4 unit *air cooled chiller* model baru adalah sekitar 4,8 tahun dengan asumsi *chiller* bekerja dalam kondisi beban penuh.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Manajemen Kantor Wisma Slipi atas bantuannya selama proses audit energi dan pengukuran data.

Daftar Pustaka

- [1] Al Horr, Y., Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, A., Elsarrag, E. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: a review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2016; 5(1), p. 1. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>
- [2] Santoso, E.I. Kenyamanan termal indoor pada bangunan di daerah beriklim tropis lembab. *Indonesian Green Technology Journal*. 2021; 1 (1), p. 13.
- [3] Al-Ajlan, S.A. Energy audit and potential energy saving in an office building in Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 2007; 21(2), p. 65. [https://doi.org/10.1016/S1018-3639\(18\)30510-5](https://doi.org/10.1016/S1018-3639(18)30510-5)
- [4] Hasnain, S.M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, part II: cool thermal storage energy. *Conversion & Management*. 1998; 39(11), p. 1139.
- [5] Prasetya, Y. Analisis peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem pencahayaan dan air conditioning (AC) di gedung perpustakaan umum dan arsip daerah kota malang. *Konsentrasi Teknik Energi Elektrik*. 2014; 2(4), p. 1.
- [6] Surindra, M.D. Audit energi untuk mendapatkan peluang penghemata energy sistem pengkondisian udara di salah satu hotel di Semarang. *Jurnal Rekayasa Mesin, Politeknik Negeri Semarang*. 2014; 9(2), p. 63. <http://dx.doi.org/10.32497/rm.v9i2.523>
- [7] Prihartono, J., Mulyadi, Subekti, P. Audit energi dan analisis peluang penghematan energi listrik gedung mahkamah konstitusi Jakarta. *Jurnal Ilmiah APTEK*. 2021; 8(1), p. 37. <https://doi.org/10.30606/aptk.v8i1.566>
- [8] Mathews, E.H., Arndt, D., Geyser, M.F. Reducing the energy consumption of a conference centre - a case study using software. *Building Environment*. 2002; 37, p. 437.
- [9] Kaya, D., Alidrisi, H. Energy savings potential in air conditioners and chiller systems. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 2016; 24, p. 935.
- [10] Kartini, P. Analisis statistik konsumsi energy listrik pada bangunan gedung yayasan widya dharma Pontianak. *ELKHA*. 2017; 9(2), p. 45.
- [11] Ju-wan, H., Soolyeon, C., Hwan-yong, K., Young-hak, S. Annual energy consumption cut-off with cooling system design parameter changes in large office buildings. *Energies*. 2020; 13, p. 2034. <https://doi:10.3390/en13082034>
- [12] Yu, F. W., Chan, K. T., Sit, R. K. Y., Yang, J. Review of standards for energy performance of chiller systems serving commercial buildings. *Energy Procedia*. 2014; 61, p. 2778. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.308>
- [13] Gang, W., Wang, S., Shan, K., Gao, D. Impacts of cooling load calculation uncertainties on the design optimization of building cooling systems. *Energy Building*. 2015, 94, p. 1.
- [14] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Peraturan menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia no. 13 tahun 2012 tentang penghematan pemakaian tenaga listrik.

<https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Permen%20ESDM%2013%202012.pdf>. BPK RI: Database Peraturan; 2012 (Diakses pada tanggal 15 April 2021).

- [15] Ningrum, D.Y., Chamim, A.N., Syahputra, R., Jamaaluddin. Report of energy audit in building F1, F3, F4, and G6 of Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. *Journal of Electrical Technology UMY*. 2019; 3(2), p. 61. <https://doi.org/10.18196/jet.3255>.
- [16] Eleftheriadis, G., Hamdy, M. Impact of building envelope and mechanical component degradation on the whole building performance: a review paper. *Energy Procedia*. 2017; 132, p.321.