

AUDIT ENERGI PADA BANGUNAN GEDUNG STUDI KASUS GEDUNG PERKANTORAN

Chalidia Nurin Hamdani^{1*}, Astrie Kusuma Dewi.¹, Aseptia Surya Wardhana¹, Primaldi Anugrah Utama.², Radityo Cahyo Yudianto², dan C.F. Pradana Swandaru²

¹Politeknik Energi dan Mineral Akamigas

²Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan

Email: *hamdani113@gmail.com

Abstrak

Abstrak-- Penggunaan energi terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi, peningkatan jumlah peralatan dan pertumbuhan penduduk. Hal ini memaksa kita untuk melakukan konservasi energi. Audit energi merupakan salah satu langkah awal dalam melakukan konservasi energi. Dengan audit energi akan diperoleh potensi penghematan energi dalam suatu objek organisasi. Dalam paper ini, disajikan sebuah studi kasus audit energi yang dilaksanakan di salah satu gedung perkantoran di Indonesia yang dilaksanakan pada tahun 2018. Gedung perkantoran yang diaudit memiliki luas 1.120 m² dengan rata-rata penggunaan energi per bulan adalah sebesar 7.743 kWh dan biaya rata-rata per bulan sebesar Rp 10,889,658. Audit dilakukan pada sistem kelistrikan, tata udara, tata cahaya dan sistem manajemen energi. Profil penggunaan energi diidentifikasi dan dimodelkan dalam bentuk linier untuk memperoleh faktor utama pengguna energi. Potensi penghematan energi berdasarkan hasil audit adalah sebesar 2.358 kWh (30,45%) dengan penghematan biaya mencapai Rp 2,431,359 per bulan atau Rp 29,176,308 per tahun.

Kata Kunci: konservasi energi, audit energi, gedung perkantoran, potensi penghematan energi

Abstract

Energy usage is constantly increasing with regard to technology invention, equipment number growth and people growth. So, we have to do energy conservation. The first step in energy conservation implementation is energy audit. By doing energy audit, we are able to identify energy saving potential in audit object. In this paper, we provide a study case of energy audit in office building in Indonesia performed on 2018. This office building has an area of approximately 1.120 m² with Rp 10,889,658 of average of energy use per month. Energy audit had performed on electricity system, air conditioning system, lighting system dan energy management system. Energy usage profile had been identified and modeled using linear approximation so the main factor of energy usage can be known. Energy saving potential that can be obtained is about 2.358 kWh (30,45%) with Rp 2,431,359 of cost saving approximation per month or Rp 29,176,308 per year.

Keywords: energy conservation, energy audit, office building, energy saving potential

I. PENDAHULUAN

Energi menjadi isu yang populer saat ini. Peningkatan populasi manusia, perkembangan ekonomi dan teknologi global serta penambahan

penggunaan peralatan membuat kebutuhan dan konsumsi energi terus meningkat. Peningkatan konsumsi energi berdampak pada peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK).

Hal ini merupakan salah satu penyebab disepakatinya *Sustainable Development Goals* (SDGs) oleh 193 anggota PBB. Salah satu target dalam SDGs tersebut adalah perlindungan lingkungan (R.B., Emilia dan R.P., Maria, 2021). Isu lingkungan sangat erat kaitannya dengan penggunaan energi. Salah satu kunci keberhasilan SDGs adalah kebijakan pemanfaatan energi yang mampu meningkatkan taraf hidup manusia namun tetap memelihara lingkungan (W. G., Santika dkk, 2020). Oleh karena itu, dalam SDG7 ditetapkan salah satunya adalah untuk menjamin akses energi bersih, handal, murah dan berkelanjutan untuk semua kalangan. Tujuan utama SDG7: akses energi universal, peningkatan penggunaan energi terbarukan dan peningkatan efisiensi energi.

Indonesia sebagai salah satu dari 193 anggota yang telah menyepakati SDGs, dituntut mampu mencapai target yang telah disepakati tersebut. Total penggunaan energi di Indonesia pada tahun 2020 tercatat mencapai 898,53 juta BOE (MEMR, 2021). Tiga jenis energi final terbesar yang digunakan adalah *fuel* (26,36%) *biofuel* (21,21%) dan listrik (19,19%).

Penggunaan listrik di Indonesia didominasi oleh industri, rumah tangga dan gedung perkantoran. Pemerintah Indonesia telah berupaya untuk meningkatkan efisiensi energi melalui berbagai program. Salah satunya adalah program audit energi. Indonesia bukan negara pertama yang merencanakan program audit energi ini. Penelitian S., Backlund dan P., Thollander (2015) menjelaskan audit energi yang telah dilaksanakan di 241 perusahaan di Swedia dengan potensi efisiensi energi sebesar minimal 6980 MWh/tahun per perusahaan. Jerman pada (F., Tobias, dan R., Ployplearn, 2012) dan Latvia pada (K., Anna, L., Kristaps dan B., Dagnija, 2020) juga telah menerapkan audit energi.

Tujuan audit energi adalah untuk menemukan potensi efisiensi energi dari pengguna energi (T., Albert, N., Terry dan J.Y., William, 2012). Dalam proses audit energi, potensi efisiensi energi dapat ditemukan dengan terlebih dahulu menentukan *base load energy*, yaitu jumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk menjalankan peralatan listrik yang menjadi kebutuhan pokok atau dasar bagi industri, gedung atau rumah tangga (Elias, A. dkk, 2018). Di beberapa negara, *benchmarking baseline* telah dilakukan guna mempermudah identifikasi potensi efisiensi energi (Hu, Ming, 2021; B2TKE-BPPT, 2020).

Dalam penelitian ini, studi kasus audit energi disajikan. Kami telah dilakukan audit energi pada salah satu gedung pemerintah Indonesia pada tahun 2018. Profil dan model penggunaan energi

diidentifikasi berdasarkan data selama 2 tahun. Rekomendasi dan potensi penghematan energi diidentifikasi pada semua sistem, meliputi sistem kelistrikan, sistem tata udara, sistem tata cahaya, dan sistem manajemen energi. Potensi penghematan energi dihitung dan disajikan beserta rekomendasi aksi penghematan yang dapat menjadi pertimbangan untuk dilaksanakan.

II. METODE

Performa konsumsi energi dalam suatu gedung perlu dihitung sebagai menjadi acuan dalam mengidentifikasi potensi penghematan energi. *Energy Efficiency Index* (EEI) atau juga dikenal sebagai *Building Energy Index* (BEI) merupakan parameter yang umum digunakan untuk menyatakan performa konsumsi energi dalam suatu gedung (Nur dkk, 2018). EEI dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$EEI = \text{Energy Input} / \text{Factor related to the energy usage component}$$

Metode yang digunakan dalam audit energi meliputi observasi, pengukuran, pengumpulan data, perhitungan, wawancara dan pengisian kuisioner oleh pengelola dan pengguna gedung. Dalam kegiatan audit energi bangunan gedung ini, terdapat beberapa sistem yang perlu diaudit, antara lain:

A. Model dan profil penggunaan energi

Model penggunaan energi diidentifikasi untuk mendapatkan faktor utama penggunaan energi. Untuk memperoleh model ini, dibutuhkan data penggunaan energi setidaknya dalam satu tahun. Profil penggunaan energi diperlukan untuk mengetahui peralatan apa saja yang menggunakan energi. Dengan mengidentifikasi model dan profil penggunaan energi, auditor akan lebih mudah dalam mengidentifikasi potensi penghematan energi.

B. Sistem kelistrikan

Sistem kelistrikan diaudit untuk melihat kualitas besaran listrik yang dipakai seperti arus, tegangan dan lain-lain. Pada umumnya sistem kelistrikan ini tidak berhubungan langsung dengan potensi penghematan energi. Audit pada sistem kelistrikan dilaksanakan untuk memastikan kualitas kelistrikan yang digunakan telah memenuhi standar yang ditentukan. Beberapa standar yang dipakai dalam paper ini antara lain:

- 1) SPLN tentang standar faktor daya ($\cos \theta$) \geq 0,85. (Ramdan, M. A., 2016)

- 2) Peraturan Menteri ESDM No. 9 Tahun 2004 yang di dalamnya mengatur standar range tegangan yaitu $198 \leq V \leq 231$
- 3) ANSI C84.1-1995 yang mengatur standar ketidakseimbangan tegangan yaitu $\leq 3\%$ dan ketidakseimbangan arus yaitu $\leq 20\%$
- 4) IEEE 519-2014 tentang standar Total Harmonic Distortion tegangan dan arus pada range tegangan $1 \text{ kV} < V < 69 \text{ kV}$ dan arus $< 20 \text{ A}$ adalah $\leq 5\%$ (IEEE Standards Association, 2014).

C. Sistem tata udara

Sistem tata udara dapat dianalisis dengan mengacu pada dua standar yaitu SNI 6389:2020 tentang konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung dan SNI 6390:2020 tentang konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung. Pada paper ini, selubung bangunan dianalisis dengan menghitung Overall Thermal Transfer Value (OTTV). Standar OTTV yang digunakan adalah $\leq 35 \text{ Watt/m}^2$. dan standar kenyamanan pada ruangan dengan pengondisi udara adalah $25^\circ \text{ C} \pm 1^\circ \text{ C}$ dan kelembaban relatif $60\% \pm 10\%$. OTTV dihitung dengan rumus berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2020):

$$OTTV = \alpha[(U_W \times (1 - WWR) \times TD_{ek})] + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF) \quad (1)$$

dengan,

α : absortan radiasi matahari

U_w : transmitansi termal dinding ($\text{W/m}^2\text{K}$)

WWR : perbandingan luas jendela dan dinding

TD_{ek} : beda suhu ekuivalen (K)

U_f : transmitansi termal penetrasi ($\text{W/m}^2\text{K}$)

ΔT : beda suhu bagian dalam dan luar (K)

SC : koefisien peneduh ($\text{W/m}^2\text{K}$)

SF : faktor radiasi matahari (W/m^2)

D. Sistem tata cahaya

Standar yang digunakan untuk sistem tata cahaya adalah SNI 6197:2020 tentang konservasi energi sistem pencahayaan. Standar kenyamanan untuk ruang kerja memiliki tingkat pencahayaan minimal 350 lux dan daya pencahayaan maksimal 15 Watt/m^2 (Badan Standarisasi Nasional, 2020).

E. Sistem manajemen energi

Standar yang digunakan untuk sistem manajemen energi adalah SNI ISO 50001:2018 tentang sistem manajemen energi. Standar ini mengatur hal-hal yang meliputi perencanaan, aksi, evaluasi dan perbaikan penerapan sistem manajemen energi.

Tabel 1. Data penggunaan energi

Bulan	Penggunaan Energi (kWh)		Pertumbuhan (%)
	Tahun 2016	Tahun 2017	
Januari	8444	9433	11.71%
Februari	8582	9983	16.32%
Maret	7050	6668	-5.41%
April	7483	9487	26.78%
Mei	7353	8232	11.95%
Juni	7250	8906	22.84%
Juli	6679	6477	-3.02%
Agustus	5548	6602	18.99%
September	7288	8815	20.95%
Oktober	7270		
November	7202		
Desember	7910		

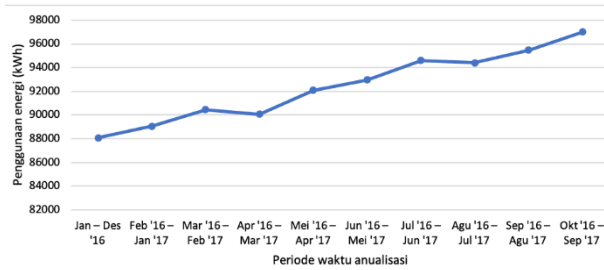
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil audit energi

Audit energi dilakukan pada salah satu gedung pemerintahan daerah di Indonesia yang memiliki luas 1.120 m^2 dengan rata-rata penggunaan energi per bulan adalah sebesar 7.743 kWh dan biaya rata-rata per bulan sebesar $\text{Rp}10.889.658$. Pekerjaan yang kami lakukan meliputi identifikasi profil dan model penggunaan energi, analisis sistem kelistrikan, analisis sistem tata udara, analisis sistem cahaya dan analisis sistem manajemen energi.

Untuk mengetahui model penggunaan energi dan mencari faktor drive utama penggunaan energi, diperlukan data penggunaan energi selama satu tahun atau lebih. Dalam kegiatan audit ini, model dibuat dengan menggunakan data penggunaan energi selama Januari 2016 sampai dengan September 2017 sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada bulan Januari 2017 konsumsi energi cenderung naik sebesar $11,71\%$ jika dibandingkan dengan Januari 2016. Bulan Februari naik sebesar $16,32\%$, bulan Maret turun $5,41\%$, bulan April naik $26,78\%$, bulan Mei naik sebesar $11,95\%$, bulan Juni naik sebesar $22,84\%$, bulan Juli turun sebesar $3,02\%$, bulan Agustus naik sebesar $18,99\%$ dan bulan September naik sebesar $20,95\%$. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa tren pertumbuhan konsumsi energi adalah naik.



Gambar 1. Penggunaan energi teranalisis

Indonesia memiliki 2 musim, yaitu musim panas dan musim hujan. Penggunaan energi bisa saja dipengaruhi oleh kedua musim tersebut. Untuk menghilangkan pengaruh musim pada data penggunaan energi, dilakukan anuualisasi pada konsumsi energi sehingga diperoleh grafik pada Gambar 1. Hasil anuualisasi menunjukkan bahwa konsumsi energi memiliki tren yang naik. Artinya, tren naik ini bukan dipengaruhi oleh musim di Indonesia.

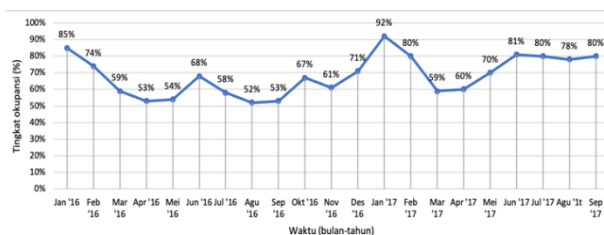
Tingkat okupansi gedung dihitung berdasarkan data kehadiran pegawai untuk melihat korelasi dengan naiknya tren konsumsi energi. Rekam tingkat okupansi sejak Januari 2016 sampai September 2017 adalah sebagaimana pada Gambar 2. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa tingkat okupansi cukup fluktuatif dengan kisaran terendah 52% pada bulan Agustus dan September 2016 dan tertinggi 92% pada bulan Januari 2017.

Dengan menggunakan data tahun 2016 sebagai baseline penggunaan energi, diperoleh model konsumsi energi sebagai berikut:

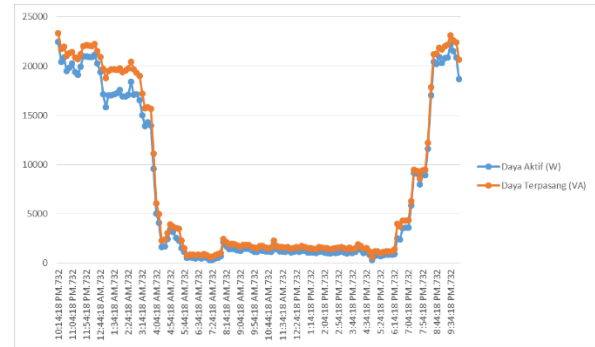
$$y = 60.53x + 116.74$$

dengan y adalah konsumsi energi dan x adalah tingkat okupansi. Parameter statistik model pada Tabel 2 menunjukkan bahwa model telah valid sehingga bisa disimpulkan bahwa penggunaan energi memang dipengaruhi secara signifikan oleh tingkat okupansi

Secara umum, hasil identifikasi di lapangan menunjukkan bahwa penggunaan energi di gedung tersebut adalah untuk *Air Conditioner* (AC), lampu dan peralatan lain yang meliputi peralatan kantor, peralatan dapur, pompa air dan lain-lain. Profil penggunaan energi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Tingkat okupansi



Gambar 3. Hasil pengukuran beban listrik

Pengguna energi terbesar di gedung tersebut adalah AC dengan penggunaan energi hingga mencapai 60, 15%. Kemudian disusul peralatan lainnya (peralatan kantor, dapur dan lain-lain) sebesar 35,43% dan lampu 4.42%.

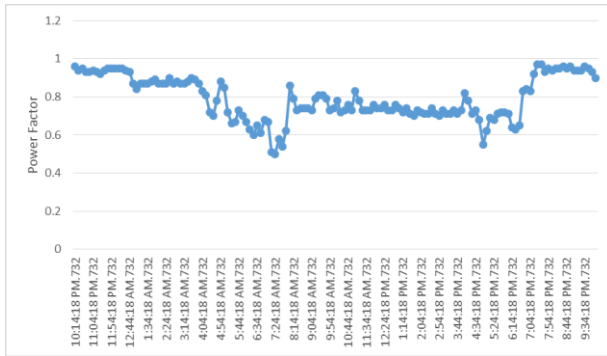
Untuk mengetahui kualitas sistem kelistrikan, dilakukan pengukuran kelistrikan pada panel listrik utama. Grafik hasil pengukuran sistem kelistrikan selama 24 jam dapat dilihat pada Gambar 3. Dari grafik tersebut, terlihat pola operasi beban listrik sesuai dengan jam operasional gedung. Beban listrik maksimal sebesar 23,37 kW saat jam operasional gedung dan beban listrik minimal sebesar 330W pada saat di luar jam operasional gedung. Pemakaian beban masih jauh dari kapasitas daya yaitu 33 kVA.

Faktor daya juga dipantau untuk mengetahui kondisi aktual faktor daya selama 24 jam. Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran langsung faktor daya. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada jam kerja (07.00 s.d. 16.00), nilai faktor daya memenuhi standar dengan nilai maksimal 0,97. Namun, di luar jam kerja faktor daya turun hingga kurang dari 0,50. Hal ini terjadi akibat adanya penurunan beban penggunaan peralatan kantor secara bertahap.

Untuk mengetahui profil kualitas tegangan dan arus, dilakukan pengukuran tegangan dan arus pada

Tabel 2. Parameter statistik model

Parameter	Nilai
Coefficient of multiple determination (R ²)	0.563968291852
Proportion of variance explained	56.39682918%
Coefficient of multiple determination – Adjusted (Ra ²)	0.563968291852865
Durbin-Watson statistic	2.3166415335771
Prob (t) a	0.049
Prob (t) b	0.074



Gambar 4. Hasil pengukuran faktor daya

ketiga fasa. Rangkuman hasil pengukuran tegangan input sebagaimana pada Tabel 3. Profil kualitas tegangan pada jam kerja masih baik dan memenuhi aturan dalam Permen ESDM No. 4/2009 yaitu $198 \leq V \leq 231$. Ketidakseimbangan tegangan tercatat maksimum sekitar 1.37%. Nilai ini masih memenuhi standar ANSI C84.1-1995 yaitu $\leq 3\%$. Ketidakseimbangan arus yang terukur mencapai nilai maksimum 87.57%. Nilai ini sudah di luar batas toleransi dalam standar yaitu $\leq 20\%$. Efek dari nilai ketidakseimbangan arus yang terlalu tinggi adalah pengaruh pada THDF: arus menjadi tinggi, timbul arus netral dan isolasi menjadi panas serta akan mempengaruhi kinerja trafo distribusi.

Total Harmonic Distortion (THD) pada tegangan dan arus juga diukur untuk melihat efek penggunaan beban nonlinier di gedung. Rangkuman hasil pengukuran VTHD dan ITHD sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai VTHD maksimal sebesar 1,67% dan ITHD maksimal sebesar 103,75%. Nilai VTHD masih di bawah batas standar dan nilai ITHD sudah melewati batas standar yaitu $\leq 5\%$.

Analisis sistem tata udara dimulai dengan menganalisis selubung bangunan dengan menghitung Overall Thermal Transfer Value (OTTV). Dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh OTTV gedung secara keseluruhan yaitu 40,17 Watt/m² dengan detail sebagaimana Tabel 5. Nilai ini melebihi standar yang ditetapkan dalam SNI 6389:2011 yaitu ≤ 35 Watt/ m² sehingga akan berefek pada penggunaan energi untuk tata udara dalam gedung.

Tabel 3. Hasil pengukuran kualitas tegangan dan arus

	VR (V)	VS (V)	VT (V)	V _{unb} (%)	I _{unb} (%)
Min	215,77	217,66	222,14	0,79	14,31
Av	227,10	231,80	235,80	1,22	70,60
Max	228,48	233,89	236,51	1,37	87,57

Tabel 4. Hasil pengukuran kualitas tegangan dan arus

	VTHD (%)			ITHD (%)		
	R	S	T	R	S	T
Min	1,20	1,00	1,04	5,84	6,75	9,1
Av	1,59	1,56	1,61	51,70	65,39	97,75
Max	1,67	1,61	1,66	59,13	97,75	103,75

Kemudian dilakukan observasi pada kapasitas pendinginan pada pengondisi udara di masing-masing ruangan. Dari 21 ruangan ber-AC yang diobservasi, kapasitas pendinginan di 9 ruangan terlalu besar dan 2 ruangan kurang besar. Penggunaan pengondisi udara dengan kapasitas berlebih akan membuat penggunaan energi menjadi boros, sedangkan kapasitas pendinginan yang kurang menyebabkan suhu yang diinginkan tidak tercapai.

Selain itu, observasi juga dilakukan pada penyalaan dan pengaturan suhu pengondisi udara dan suhu terukur ruangan. Pengondisi udara dinyalakan selama 10 jam mulai dari pukul 07.00 sampai dengan 17.00. Dari 21 ruangan ber-AC, 10 ruangan diatur pada suhu 16, 22 dan 23 derajat celcius dengan suhu ruangan terukur berkisar antara 25 s.d 27 derajat celcius. Pengaturan suhu yang terlalu rendah akan menyebabkan pemborosan energi karena kompresor akan bekerja maksimal hingga suhu yang diinginkan tercapai. Perbedaan 1 derajat celcius pada pengaturan suhu akan mengakibatkan pemborosan energi listrik hingga 6%.

Untuk sistem tata cahaya, pertama dilakukan pengukuran tingkat pencahayaan (lux) dengan menggunakan luxmeter pada semua ruangan. Dari hasil pengukuran, semua ruang kerja masih memiliki pencahayaan yang kurang dari standar pencahayaan untuk ruang kerja yaitu 350 lux. Hasil pengukuran tingkat pencahayaan menunjukkan nilai minimal 16 lux dan maksimal 107 lux. Untuk itu, diperlukan tambahan pencahayaan agar tingkat pencahayaan.

Tabel 5. Perhitungan OTTV gedung

Parameter	Sisi Timur	Sisi Selatan	Sisi Barat	Sisi Utara
Total energi termal (Watt)	9.811,80	22.349	10.510	15.983
Luas dinding (m ²)	259,00	471	259	471
OTTV (Watt/ m ²)	37,88	47,45	40,57	33,93
OTTV gedung (Watt/ m ²)	40.17			

Level	Kebijakan Energi	Organisasi	Pelatihan	Pengukuran Performa	Komunikasi	Investasi
4	Kebijakan energi, rencana aksi dan peninjauan rutin ada dan top manajemen berkomitmen melaksanakan	Manajer energi tidak terintegrasi dalam struktur manajemen. Hendelegasi tanggung jawab yang jelas terkait pelaksanaan	Pelatihan yang tepat untuk staf yang disesuaikan dengan kebutuhan dan disertai dengan evaluasi	Pengukuran performa yang kemudian dibandingkan terhadap target disertai pelaporan manajemen secara efektif	Pembahasan isu energi baik di internal maupun eksternal organisasi	Sumber daya selalu tersedia untuk program efisiensi energi guna mendukung tujuan organisasi
3	Kebijakan hanya ada secara formal namun top manajemen tidak berkomitmen untuk melaksanakan	Manajer energi yang accountable pada komite energi yang diawasi oleh anggota top manajemen	Pelatihan tentang energi untuk pengguna secara umum sesuai analisis kebutuhan pelatihan	Pengukuran performa secara mingguan untuk setiap gedung, atau unit atau proses	Briefing rutin untuk staf, pelaporan performa dan kampanye hemat energi	Memasukkan efisiensi energi sebagai kriteria penilaian
2	Kebijakan belum dibuat secara formal	Manajer energi sudah ada namun garis manajerial dan otoritas belum jelas	Pelatihan internal untuk orang-orang tertentu sesuai kebutuhan	Pemantauan performa secara bulanan	Promosi efisiensi energi menggunakan mekanisme komunikasi organisasional	Mengutamakan investasi low atau medium cost jika periode payback-nya tepat
1	Pentunjuk belum dibuat	Manajemen energi dilakukan secara paruh waktu dengan pengaruh dan otoritas	Kursus teknis untuk staf tertentu dengan keahlian menghadirkan spesialis tertentu	Pengendalian beban listrik saja	Promosi efisiensi energi secara tidak formal	Hanya melaksanakan investasi yang low atau no cost
0	Tidak ada kebijakan energi secara eksplisit	Tidak ada manajer energi atau formil organisasi yang bertanggung jawab terhadap penggunaan energi	Tidak ada pelatihan tentang energi yang diberikan kepada staf	Tidak ada pengukuran terhadap biaya atau konsumsi energi	Tidak ada promosi apapun mengenai efisiensi energi	Tidak ada investasi untuk efisiensi energi
Nilai	2	0	2	1	2	1

Gambar 5. Matriks pelaksanaan sistem manajemen energi

mencapai titik nyaman yang telah ditetapkan dalam standar.

Sebagai acuan perbandingan, dilakukan observasi pada daya lampu terpasang dan luas masing-masing ruangan untuk menghitung daya pencahayaan (Watt/m^2). Hasil pengukuran dan perhitungan daya pencahayaan diperoleh nilai minimal $0,7 \text{ Watt/m}^2$ dan nilai maksimal $4,9 \text{ Watt/m}^2$. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa daya pencahayaan masih jauh dari batas atas yang ditetapkan dalam SNI 6197:2020. Artinya, masih memungkinkan untuk menambahkan komponen pencahayaan agar tingkat pencahayaan sesuai standar.

Data pelaksanaan manajemen energi diperoleh dengan metode wawancara dan pengisian kuisioner oleh pengguna dan pengelola gedung. Hasil wawancara dan kuisioner tentang manajemen energi dinyatakan dalam matriks sebagaimana pada Gambar 5. Dengan asesmen menggunakan matriks ini, diperoleh total skor 8 dari 24. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum sistem manajemen energi belum dilaksanakan di gedung ini. Hal ini terlihat dari belum adanya kebijakan resmi dari pimpinan tentang manajemen energi, belum adanya manajer energi, penggunaan energi hanya diukur dari tagihan listrik dan investasi konservasi energi hanya untuk yang biaya rendah atau tanpa biaya.

B. Rekomendasi dan potensi penghematan energi

Hasil pengukuran dan analisis pada sistem kelistrikan menunjukkan terjadinya ketidakseimbangan arus yang cukup besar mencapai $87,57\%$. Ketidakseimbangan ini disebabkan pembebanan yang menumpuk pada salah satu fasa (RST). Rekomendasi untuk permasalahan ini adalah rewiring pada sistem kelistrikan agar

ketidakseimbangan arus turun hingga di bawah batas yang ditetapkan dalam standar.

Hasil perhitungan pada OTTV masih menunjukkan nilai yang cukup besar yaitu $40,17 \text{ Watt/m}^2$. Artinya, perpindahan panas dari luar ke dalam gedung masih cukup besar sehingga membutuhkan energi yang besar juga untuk mengondisikan udara dalam gedung. Semakin kecil OTTV maka akan semakin hemat energi yang digunakan untuk mengondisikan udara dalam gedung. Beberapa rekomendasi untuk mengurangi nilai OTTV, antara lain:

1. Memasang *overhang* atau *shading* pada jendela gedung;
2. Menambahkan vegetasi di sekitar gedung untuk mengurangi panas matahari.

Hasil observasi dan pengukuran pada pengondisi udara yang terpasang di gedung menunjukkan bahwa masih terdapat penggunaan pengondisi udara yang tidak sesuai dengan prinsip konservasi energi. Berikut beberapa rekomendasi dan potensi penghematan yang dapat dilaksanakan:

1. Mengurangi waktu penyalaan pengondisi udara; Penyalaan pengondisi udara dapat dimulai pada pukul 08.30 dan dimatikan pada pukul 15.30 serta dimatikan pada jam istirahat (12.00 s.d. 13.00). Dengan menghitung pengurangan penggunaan energi di semua pengondisi udara, diperoleh total potensi penghematan energi sebesar 1.684 kWh selama 1 bulan (sekitar $21,75\%$ dari rata-rata penggunaan energi gedung selama 1 bulan) atau penghematan biaya sebesar Rp $1,739,572$ per bulan (Rp $20,874,864$ per tahun);
2. Pengaturan suhu pada 25°C ; Dengan mengatur suhu pengondisi udara sesuai standar kenyamanan, yaitu 25 derajat celsius. Estimasi penghematan energi dengan pengurangan per 1°C adalah 5% dari penggunaan energi sebelumnya. Dengan menghitung potensi penghematan pada semua pengondisi udara tiap ruangan, diperoleh total potensi penghematan sebesar 674 kWh per bulan (sekitar $8,70\%$ dari total konsumsi energi gedung) atau penghematan biaya sebesar Rp $691,787$ per bulan (Rp $8,301,446$ per tahun).

Hasil observasi dan pengukuran pada sistem pencahayaan menunjukkan bahwa tingkat pencahayaan belum mencukupi standar yaitu 350 lux untuk ruang kerja. Sedangkan daya pencahayaan yang

dipakai saat ini masih tergolong hemat yaitu di bawah 15 Watt/m². Untuk itu, pada sistem pencahayaan direkomendasikan untuk meningkatkan pencahayaan baik dengan pencahayaan buatan maupun pencahayaan alami. Penambahan pencahayaan buatan tentu akan menambah konsumsi energi. Hal yang perlu diperhatikan adalah menjaga agar daya pencahayaan sesuai dengan standar yaitu ≤ 15 Watt/m².

Penerapan sistem manajemen energi masih cukup jauh dari yang diharapkan. Rekomendasi yang dapat dilaksanakan antara lain:

1. Pembuatan kebijakan resmi internal tentang konservasi energi di gedung;
2. Penunjukan staf sebagai manajer energi di gedung;
3. Penyediaan media informasi berupa poster dan lain-lain yang berisi program konservasi energi untuk mengingatkan pegawai;
4. Pelaksanaan evaluasi penghematan setiap tahun; dan
5. Pelaksanaan sosialisasi pentingnya konservasi energi untuk semua pegawai.

IV. KESIMPULAN

Dalam paper ini, telah disajikan hasil audit energi pada salah satu gedung milik pemerintah RI. Audit dilakukan pada 4 sistem yang meliputi sistem kelistrikan, sistem tata udara, sistem tata cahaya, dan sistem manajemen energi. Pada sistem kelistrikan ditemukan adanya ketidakseimbangan arus mencapai 87,57% sehingga diperlukan rewiring pada sistem kelistrikan agar ketidakseimbangan tersebut menurun hingga batas yang diizinkan. Pada sistem tata udara, OTTV masih cukup besar yaitu 40,17 Watt/m² sehingga diperlukan pemasangan shading dan penambahan vegetasi sekitar gedung untuk menurunkan OTTV serta penyesuaian penggunaan pengondisi udara dengan standar yang berlaku. Pada sistem tata cahaya, hasil audit menunjukkan bahwa pencahayaan masih belum memenuhi standar dan daya yang digunakan masih tergolong hemat sehingga diperlukan penambahan pencahayaan agar tingkat pencahayaan memenuhi standar. Sistem manajemen energi masih kurang sehingga diperlukan pembuatan kebijakan resmi tentang konservasi energi dan penunjukan manajemen energi. Dari beberapa rekomendasi pada keempat sistem, diperoleh total potensi penghematan energi sebesar 2.358 kWh (30,45%) dengan penghematan biaya mencapai Rp 2,431,359 per bulan atau Rp 29,176,308 per tahun.

V. DAFTAR PUSTAKA

- R.B., Emilia dan R.P., Maria, (2021) Integrating SDGs in Inveromental Assessment: Unfolding SDG functions in Emerging Practices, *Enviromental Impact Assesment Review Journal*, vol. 90.
- W. G., Santika, M., Anisuzzaman, Y., Simsek, P.A., Bahri, G, Shafiullah, dan T., Urme, (2020), Implications of the Sustainable Development Goals on national energy demand: The case of Indonesia. *Energy*, vol. 196.
- MEMR, (2021), *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2020* Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources.
- S., Backlund dan P., Thollander, (2015) Impact after three years of the Swedish energy audit program. *Energy*.
- F., Tobias, dan R., Ployplearn, (2012), Adoption of Energy-Efficiency Measures in SMEs – An Emprcal Analysis Based On Energy Audit Data From Germany, *energy Policy*, Vol. 51.
- K., Anna, L., Kristaps dan B., Dagnija, (2020), Analysis of The Results of National Energy Audit Program in Latvia, *Energy*.
- T., Albert, N., Terry dan J.Y., William, (2012), *Handbook of Energy Audits 9th Editions*, USA: The Fairmont Press.
- Hu, Ming, (2021), 2019 Energy Benchmarking Data for LEED-Certified Building in Washington, D.C.: Simulation and Reality, *Journal of Building Engineering*.
- B2TKE-BPPT, (2020), Laporan Akhir Benchmarking Specific Energy Consumption di Bangunan Komersial.
- Elias, A., Magnus K., Patri T., Svetlana P., (2018), Energy End-Use and Efficiency Potentials Among Swedish Industrial Small and Medium-Sized Enterprises – A Dataset Analysis From the National Energy Audit Program, *Renewable and Sustainable Energy*.
- Nur, N.A.B., Mohammad, Y.H., Hayati, A., Hasimah, A. R., Md Pauzi, A., Faridah, H., Masilah, B., (2018) Energy Efficiency Index As an Indicator for Measuring Building Energy Performance: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Ramdan, M. A., (2016), Analisis Kualitas Daya Di Museum Pendidikan Nasional Indonesia, Universitas Pendidkan Indonesia.
- IEEE Standards Association. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for*

- Harmonic Control in Electric Power Systems. New York: IEEE Press.
- Badan Standarisasi Nasional (2020), SNI 6389:2020 – Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional: Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional (2020), SNI 6197:2020 – Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan, Badan Standarisasi Nasional: Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional (2020), SNI 6390:2020 – Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional: Jakarta