

ANALISIS DINAMIKA BEBAN HARIAN DAN PELUANG *LOAD SHIFTING* PADA GEDUNG SEKOLAH

^{1*}**Aulia Rahmah**

¹Universitas Negeri Makassar, Makassar

Email: aulia.rahmah@unm.ac.id¹

*Corresponding author: aulia.rahmah@unm.ac.id¹

ABSTRAK

Pengelolaan konsumsi energi di lingkungan sekolah merupakan aspek penting dalam upaya efisiensi dan pengendalian biaya operasional. Penelitian ini menganalisis dinamika beban harian dan mengidentifikasi peluang penerapan load shifting pada SMK Negeri 4 Gowa dengan berbasis data durasi penggunaan perangkat dan daya terpasang di setiap ruang fungsional. Data dikonversi ke dalam konsumsi energi per jam untuk membentuk kurva beban harian. Hasil analisis menunjukkan adanya puncak beban pada jam kegiatan inti yang dipicu oleh operasi simultan peralatan berdaya tinggi seperti AC, lampu, dan komputer. Pola konsumsi juga mengindikasikan potensi ineffisiensi akibat penggunaan perangkat yang tidak terkontrol dan tidak mempertimbangkan kondisi aktual ruangan. Penelitian ini menawarkan strategi manajemen energi berupa *load shifting* yang dilakukan dengan meredistribusi penggunaan perangkat tertentu ke jam off-peak tanpa mengganggu aktivitas pembelajaran. Selain itu, perubahan perilaku pengguna serta pengaturan operasi perangkat dapat menurunkan konsumsi energi bulanan secara signifikan. Dengan demikian, pendekatan manajemen energi berbasis data yang diterapkan dalam studi ini mampu memberikan penghematan energi dan biaya secara nyata serta mendukung terciptanya lingkungan sekolah yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata Kunci : Beban Harian, *Load Shifting*, Efisiensi Energi, Audit Energi, Gedung Sekolah

ABSTRACT

The management of energy consumption in the school environment is an important aspect in efforts to improve efficiency and control operational costs. This study analyzes the dynamics of daily load and identifies opportunities for the implementation of load shifting at SMK Negeri 4 Gowa based on data on the duration of device use and installed power in each functional space. The data is converted into hourly energy consumption to form a daily load curve. The results of the analysis showed that there was a peak load on core activity hours triggered by the simultaneous operation of high-power equipment such as air conditioners, lights, and computers. Consumption patterns also indicate potential inefficiencies due to uncontrolled use of devices and not taking into account the actual conditions of the room. This study offers an energy management strategy in the form of load shifting which is carried out by redistributing the use of certain devices to off-peak hours without interfering with learning activities. In addition, changes in user behavior as well as device operation settings can significantly lower monthly energy consumption. Thus, the data-based energy management approach applied in this study is able to provide real energy and cost savings and support the creation of a more efficient and sustainable school environment.

Keywords: Daily Load, Load Shifting, Energy Efficiency, Energy Audit, School Building

1. PENDAHULUAN

Gedung sekolah sangat bergantung pada energi listrik untuk menopang aktivitas belajar-mengajar dan operasional dari ruang kelas, laboratorium, hingga bengkel, namun pola konsumsi harian dan titik puncak beban seringkali tidak terdokumentasi dengan baik (Situmorang, 2025). Ketidakjelasan ini menyebabkan praktik operasi yang kurang efisien, sehingga meningkatkan biaya operasional dan mengurangi sumber dana yang seharusnya dialokasikan untuk peningkatan mutu pendidikan. Studi-studi audit dan penilaian energi di bangunan pendidikan menegaskan bahwa pemetaan konsumsi dan model berbasis pengukuran sangat penting sebagai langkah awal perbaikan efisiensi energi (Kusumastuti et al., 2025).

Untuk menjawab masalah tersebut penelitian ini memfokuskan pada analisis dinamika beban harian melalui konstruksi kurva beban dan identifikasi kontributor utama yang menyebabkan lonjakan konsumsi. Pendekatan berbasis profil beban memungkinkan identifikasi jam puncak dan memberi dasar kuantitatif untuk strategi manajemen beban (Saputri et al., 2025), termasuk *load shifting* berupa penjadwalan ulang aktivitas non-kritis ke periode off-peak yang telah terbukti sebagai solusi berbiaya rendah dan efektif pada studi kasus sekolah dan institusi pendidikan lain (Amrillah et al., 2023). Metode audit energi terapan dan analisis profil beban yang dipakai dalam penelitian ini mengambil pendekatan yang umum dipakai dalam literatur terkini untuk menghasilkan rekomendasi teknis yang realistik (Aditiawarman, 2024).

Tujuan penelitian ini adalah membangun gambaran menyeluruh mengenai dinamika beban harian di gedung sekolah SMK Negeri 4 Gowa melalui pemanfaatan data durasi penggunaan perangkat dan daya terpasang pada setiap ruang. Analisis diarahkan untuk mengidentifikasi secara jelas jam-jam terjadinya beban puncak beserta perangkat yang menjadi kontributornya, sehingga pola konsumsi energi yang muncul dapat dipahami secara realistik sesuai aktivitas harian sekolah. Selanjutnya, penelitian ini menelaah potensi penerapan *load shifting* yang tetap selaras dengan ritme proses pembelajaran, termasuk menilai peluang redistribusi operasi perangkat berdaya tinggi tanpa menimbulkan gangguan pada kegiatan akademik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan audit energi berbasis analisis tidak langsung, yaitu pengolahan data durasi penggunaan perangkat listrik dan daya terpasang untuk menyusun profil beban harian gedung sekolah. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik konsumsi energi di sekolah yang sangat bergantung pada jadwal operasional ruang kelas, laboratorium, dan bengkel praktik. Lokasi penelitian berada di SMK Negeri 4 Gowa, dengan fokus pada perangkat yang memiliki kontribusi besar terhadap konsumsi listrik, yaitu sistem pencahayaan, pendingin ruangan (AC), komputer, serta beban dominan lainnya. Data yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 1. yang terdiri dari data primer berupa observasi kondisi penggunaan energi dan durasi pemakaian masing-masing perangkat, serta data sekunder seperti rekaman konsumsi energi bulanan dan spesifikasi daya peralatan.

Tabel 1. Penggunaan Energi Gedung Sekolah SMK Negeri 4 Gowa

No	Ruangan	Beban	Jumlah (buah)	Total Daya (W)	Pemakaian per Hari (jam)	Daya/Hari (kWh)	Daya/ Bulan(kWh)
1	Ruang Kul-jar	Lampu LED	2	36	1	0,036	1,08
		Lampu TL	1	10	24	0,24	7,2
		AC	1	900	24	10,8	324
2	Ruang Utama	Lampu	2	30	1	0,03	0,9
3	Ruang Istirahat	Lampu	1	20	1	0,02	0,6
4	Ruang Sholat Dan Istirahat Guru	Lampu	1	15	1	0,015	0,45
		Dispenser	1	350	1	0,35	10,5
7	Ruang Guru	Lampu	2	40	1	0,04	1,2
		Computer Philips	1	50	8	0,4	12
		Prin Epson	1	20	1	0,02	0,6
		AC	1	450	8	7,2	216
		Wifi	1	20	8	0,16	4,8

8	Dapur	Lampu	1	20	1	0,02	0,6
9	Teras ATHP	Lampu	1	20	8	0,16	4,8
10	Kelas 1	Lampu	4	72	1	0,072	2,16
11	Kelas 2	Lampu	6	90	1	0,09	2,7
12	Kelas 3	Lampu	6	90	1	0,09	2,7
13	Teras Kelas	Lampu	3	54	8	0,432	12,96
14	Grand House	Pompa Air	1	440	1	0,44	13,2
Total						20,615	618,45

Denah bangunan sekolah yang disajikan pada Gambar 1. turut digunakan untuk memetakan distribusi beban pada setiap ruang fungsional.

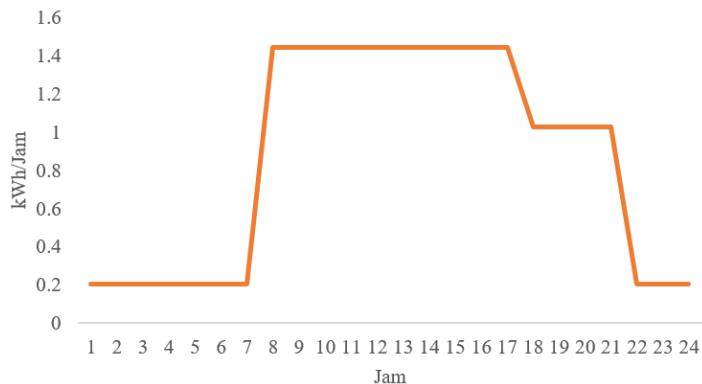


Gambar 1. Denah Gedung Sekolah SMK Negeri 4 Gowa

Data yang diperoleh selanjutnya diolah untuk menghitung konsumsi energi setiap perangkat menggunakan persamaan dasar, di mana energi diturunkan dari kombinasi daya terpasang dan waktu operasional.

$$E = P \times t$$

Seluruh nilai konsumsi kemudian dikelompokkan berdasarkan jam penggunaan, sehingga menghasilkan profil konsumsi listrik per jam. Dari hasil pengolahan tersebut, kurva beban harian dibentuk untuk menggambarkan dinamika penggunaan energi dari pagi hingga sore hari. Kurva pada Gambar 2. ini memungkinkan identifikasi jam puncak beban dan analisis terhadap perangkat-perangkat yang berkontribusi dominan pada lonjakan konsumsi, termasuk hubungan antara aktivitas sekolah dengan peningkatan beban. Setelah pola beban terpetakan, penelitian dilanjutkan dengan analisis peluang penerapan load shifting, yaitu penjadwalan ulang penggunaan perangkat tertentu ke jam-jam dengan beban lebih rendah tanpa mengganggu proses belajar mengajar. Analisis ini mempertimbangkan kombinasi faktor teknis, kenyamanan pengguna, serta karakteristik aktivitas operasional sekolah.



Gambar 2. Kurva Beban Harian SMK Negeri 4 Gowa (Estimasi).

Penelitian dibatasi pada beban listrik yang paling dominan dan mudah dimonitor, yakni lampu, AC, dan komputer, sehingga metode yang diterapkan menggunakan data durasi pemakaian dan daya peralatan tanpa pengukuran meter real-time. Selain itu, analisis hanya difokuskan pada jam operasional sekolah. Batasan ini diterapkan untuk menjaga konsistensi data dan memastikan bahwa rekomendasi load shifting yang dihasilkan relevan dan realistik untuk diterapkan di lingkungan sekolah. Melalui pendekatan ini, metode penelitian disusun secara terukur dan adaptif terhadap kondisi aktual sekolah, memungkinkan hasil yang akurat dan aplikatif untuk peningkatan efisiensi energi.

Tabel 2. Rekomendasi Manajemen Energi dengan Estimasi Penghematan (kWh/Bulan)

No	Area	Perhitungan Penghematan	Estimasi Penghematan (kWh/Bulan)	Prioritas
1	AC Ruang Kelas & Ruang Guru	Daya AC 900 W \times penghematan 20% \times 24 jam \times 30 hari	129.6 kWh	Tinggi
2	Pencahayaan Kelas & Koridor	Daya total lampu: 600 W \times penghematan 15% \times 8 jam \times 30 hari	21.6 kWh	Tinggi
3	Komputer Admin	50 W \times 4 jam idle \times 30 hari	6.0 kWh	Sedang
4	Dispenser	350 W \times 16 jam pengurangan \times 30 hari	168.0 kWh	Sedang
5	WiFi/Router	20 W \times 12 jam \times 30 hari	7.2 kWh	Sedang
6	Lampu Koridor/Teras	54 W \times pengurangan 50% \times 8 jam \times 30 hari	6.48 kWh	Sedang
7	Ruang Bengkel/Lab	Peralatan total 500 W \times 2 jam disingkat \times 30 hari	30.0 kWh	Tinggi
8	Jadwal Operasi Gedung	Pengurangan puncak \pm 5% dari total 20.6 kWh/hari	30.9 kWh	Menengah
9	Edukasi Hemat Energi	Estimasi umum konservatif 3% dari total 618 kWh/bulan	18.5 kWh	Tinggi
10	Peremajaan Lampu	Penghematan 5 W \times 24 jam \times 30 hari	3.6 kWh	Sedang

Pada Tabel 2 disajikan rekomendasi manajemen energi dimana jika strategi-strategi ini diterapkan secara konsisten, sekolah berpotensi menurunkan konsumsi energi bulanan sekaligus meringankan beban biaya listrik yang selama ini cukup besar. Lebih jauh lagi, implementasi manajemen energi yang baik akan menciptakan budaya hemat energi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva beban harian menunjukkan pola konsumsi energi yang naik-turun mengikuti ritme aktivitas sekolah. Beban mulai meningkat pada rentang 07.00–09.00, seiring dimulainya kegiatan belajar mengajar dan banyaknya peralatan yang mulai dioperasikan. Puncak beban muncul pada jam-jam aktivitas inti ketika ruang kelas, ruang guru, dan perangkat pendukung seperti AC, komputer, serta lampu beroperasi secara bersamaan. Setelah itu, beban perlahan menurun pada siang hingga **sore** hari, mengikuti berkurangnya aktivitas belajar dan dimatikannya sebagian besar perangkat. Pola ini menggambarkan bahwa konsumsi energi sangat dipengaruhi oleh intensitas kegiatan siswa dan guru sepanjang hari.

Analisis perilaku penggunaan energi mengungkapkan bahwa sejumlah peralatan digunakan tanpa kontrol yang jelas, seperti AC yang dinyalakan setiap kali guru memasuki kelas tanpa mempertimbangkan kebutuhan termal ruangan, lampu yang tetap menyala meski cahaya alami sudah memadai, serta komputer administrasi yang digunakan hampir sepanjang hari meskipun tidak selalu dibutuhkan. Pola ini menunjukkan adanya peluang besar untuk penghematan energi melalui penjadwalan penggunaan, peningkatan disiplin operasional, dan penerapan strategi load shifting sederhana. Perubahan perilaku sederhana dapat berdampak signifikan terhadap penurunan konsumsi energi harian. Kombinasi antara pendekatan teknis (pengaturan jadwal dan setpoint) dan pendekatan perilaku akan menghasilkan strategi penghematan yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Analisis Peluang Penghematan dan Arah Strategi Manajemen Energi

Analisis lebih lanjut terhadap pola beban menunjukkan bahwa sebagian besar konsumsi energi di sekolah bersifat *predictable* dan berulang setiap hari. Kondisi ini ideal untuk diterapkan strategi manajemen energi berbasis pengaturan beban (load management). Secara keseluruhan, hasil analisis ini menggarisbawahi bahwa efisiensi energi di sekolah dapat dicapai melalui kombinasi strategi teknis dan non-teknis.

Tabel 3. Simulasi Finansial per Bulan

Bln	Daya Terpakai (kWh)	Biaya Saat Ini (Rp)	Konsumsi Setelah Penghematan (kWh)	Biaya Baru (Rp)	Penghematan (Rp)
1	6.667	8.000.000	6.245	7.223.380	776.620
2	6.250	7.500.000	5.828	6.883.632	616.368
3	7.083	8.500.000	6.661	7.545.284	954.716
4	7.917	9.500.000	7.495	8.390.380	1.109.620
5	9.583	11.500.000	9.161	10.552.684	947.316
6	10.000	12.000.000	9.578	10.996.232	1.003.768
7	6.000	7.200.000	5.578	6.098.032	1.101.968
8	7.333	8.800.000	6.911	7.474.184	1.325.816
9	8.083	9.700.000	7.661	8.554.084	1.145.916
10	9.000	10.800.000	8.578	9.624.744	1.176.000
11	9.417	11.300.000	8.995	10.166.936	1.134.000
12	6.500	7.800.000	6.078	6.064.006	1.736.000

Rekomendasi manajemen energi yang diusulkan mampu menurunkan konsumsi energi harian secara signifikan. Penghematan teknis sekitar 421 kWh per bulan menunjukkan bahwa inefisiensi yang dominan berasal dari pola penggunaan perangkat yang tidak terkontrol dan dapat diperbaiki tanpa investasi besar. Ketika dikonversi ke nilai finansial, potensi penghematan berkisar antara Rp600.000 hingga Rp1.300.000 per bulan yang disajikan pada Tabel 3, tergantung variasi beban tiap bulan. Temuan ini menegaskan bahwa manajemen energi tidak hanya meningkatkan efisiensi teknis, tetapi juga memberikan keuntungan finansial nyata bagi sekolah.

Analisis Load Shifting

Setelah potensi penghematan energi dan biaya berhasil diidentifikasi melalui rekomendasi manajemen operasional, langkah berikutnya adalah mengevaluasi peluang *load shifting* sebagai strategi pengendalian beban

yang lebih terstruktur. Analisis kurva beban harian menunjukkan adanya konsentrasi penggunaan energi pada jam-jam tertentu, terutama pada periode pagi hingga menjelang siang. Pola ini menandakan bahwa sebagian beban dapat dipindahkan ke jam yang lebih rendah penggunaan energinya (*off-peak hours*) tanpa mengganggu aktivitas belajar mengajar. Oleh karena itu, analisis load shifting diperlukan untuk menentukan perangkat mana yang realistik dipindahkan waktunya, berapa besar potensi pengurangan beban puncak, serta bagaimana dampaknya terhadap stabilitas konsumsi energi harian sekolah.

Analisis tiga skenario load shifting menunjukkan bahwa pengelolaan konsumsi energi di lingkungan sekolah dapat dilakukan secara bertahap dengan tingkat intervensi yang berbeda. Skenario konservatif menegaskan bahwa perubahan perilaku pengguna seperti mematikan lampu saat pencahayaan alami memadai dan memastikan komputer hanya digunakan saat dibutuhkan sudah mampu menurunkan beban puncak hingga 5-8%. Skenario moderat memperlihatkan bahwa penjadwalan ulang perangkat berdaya menengah seperti AC, komputer admin, dan dispenser mampu membuat pola beban harian lebih seimbang.

Dengan menghindari operasi simultan perangkat khususnya pada jam puncak pukul 09.00-11.00 saat beban dapat dikurangi sebesar 10-15%. Pendekatan ini menunjukkan bahwa penghematan energi tidak hanya bergantung pada pemotongan konsumsi, tetapi juga pada distribusi waktu operasional yang tepat. Sementara itu, skenario agresif memberikan gambaran bagaimana strategi teknis yang lebih sistematis dapat menghasilkan dampak penghematan terbesar, yaitu hingga 18-25%.

Meskipun memerlukan kedisiplinan dan koordinasi lebih tinggi, skenario ini memberikan manfaat jangka panjang berupa pengurangan signifikan pada beban puncak, efisiensi energi yang lebih besar, dan peluang penghematan biaya operasional yang lebih nyata.

Secara keseluruhan, ketiga skenario yang disajikan menunjukkan bahwa manajemen energi yang efektif dapat diterapkan secara bertahap mulai dari perubahan perilaku sederhana hingga strategi teknis yang terukur. Pendekatan bertingkat ini memberi sekolah fleksibilitas untuk memilih strategi sesuai kemampuan anggaran dan kesiapan operasional, sekaligus memberikan dasar kuat bagi penerapan sistem manajemen energi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dinamika beban harian di SMK Negeri 4 Gowa dipengaruhi secara dominan oleh pola aktivitas sekolah dan penggunaan perangkat berdaya tinggi seperti AC, lampu, komputer admin, serta pompa air. Kurva beban harian yang dibentuk dari data operasional memperlihatkan adanya dua puncak beban utama yang terjadi pada jam-jam kegiatan belajar dan aktivitas administrasi. Temuan ini mengonfirmasi bahwa ketidakefisienan energi lebih banyak bersumber dari pola penggunaan yang tidak terjadwal dan tumpang tindihnya operasi beberapa perangkat. Melalui analisis beban puncak dan evaluasi peluang load shifting, diperoleh potensi penghematan energi yang signifikan tanpa memerlukan investasi besar. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan pentingnya manajemen energi berbasis data sebagai langkah strategis untuk meningkatkan efisiensi listrik sekolah, menekan biaya operasional, serta mendukung upaya lingkungan yang lebih berkelanjutan.

REFERENSI

- Aditiawarman, A. D. (2024). *Audit Energi Pada Studio Tvri Jawa Tengah Dengan Metode Ahp (Analytical Hierarchy Process)*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Amrillah, M. F., Irwan, I., Perdana, F. W., Yuda, D. P., Sari, D. Y., Sari, Y. P., & Ulya, F. H. (2023). Efisiensi Biaya Energi Listrik Reverse Osmosis System Menggunakan Metode Load Shifting Management. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 118–124.
- Kusumastuti, S. Y., Wiliyanti, V., Judijanto, L., Rahayu, S., Amna, S., Agus, F., & Adhikara, C. T. (2025). *Green Technology: Inovasi Teknologi Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan*. PT. Green Pustaka Indonesia.
- Saputri, T. A., Nur, A., Lanavia, U. S., Ulfa, V. Z., & Sundawan, N. A. (2025). Analisis Perilaku Beban Dalam Menunjang Efektivitas Pengendalian Beban Operasional CV Kombos Tendean. *Journal ANC*, 1(3), 30–39.
- Situmorang, E. (2025). *Analisis Efisiensi Dan Strategi Penghematan Energi Listrik Di Gedung Sekolah Smp Dan Sma Santa Lusia Sei Rotan Kabupaten Deli Serdang*.