

Audit Energi Pada Gedung Universitas Pertamina Menggunakan Metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*)

Muhamad FE Nugroho¹, Wahyu Agung Pramudito², Soni Prayogi^{3*}

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina, Indonesia

*corresponding author: soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id

Received tgl-bln-thn	Revised tgl-bln-thn	Accepted tgl-bln-thn
----------------------	---------------------	----------------------

ABSTRAK

Efisiensi energi di sektor pendidikan sangat penting untuk mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan. Gedung Universitas Pertamina, sebagai konsumen energi signifikan, memerlukan audit energi untuk mengidentifikasi peluang penghematan. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dipilih untuk menentukan prioritas tindakan efisiensi energi secara objektif dan terstruktur. Audit ini bertujuan untuk meningkatkan performa energi gedung, mendukung keberlanjutan, dan mengurangi emisi gas rumah kaca, sekaligus menjadi model bagi institusi pendidikan lainnya dalam pengelolaan energi yang efektif dan berkelanjutan. Proses audit ini melibatkan identifikasi dan analisis konsumsi energi pada berbagai fasilitas gedung, serta penentuan prioritas tindakan efisiensi energi yang dapat diimplementasikan. Metode AHP digunakan untuk memfasilitasi pengambilan keputusan dengan membandingkan berbagai kriteria dan alternatif tindakan secara sistematis dan objektif. Hasil audit menunjukkan bahwa terdapat beberapa area dengan potensi penghematan energi yang signifikan, seperti sistem pencahayaan, pendingin udara, dan penggunaan peralatan listrik. Rekomendasi yang dihasilkan meliputi penerapan teknologi hemat energi, optimalisasi operasional peralatan, serta edukasi dan pelatihan bagi pengguna gedung mengenai praktik hemat energi. Implementasi hasil audit ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi di Gedung Universitas Pertamina, mengurangi biaya operasional, dan berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan.

Kata kunci: Audit Energi; Efisiensi Energi; Metode AHP; Penghematan Energi.

ABSTRACT

Energy efficiency in the education sector is essential to reduce operational costs and environmental impact. Pertamina University buildings, as significant energy consumers, require an energy audit to identify savings opportunities. This service aims to conduct an energy audit at the Pertamina University Building using the *Analytical Hierarchy Process* (AHP) method. This audit process involves identifying and analyzing energy consumption in various building facilities, as well as determining priorities for energy efficiency measures that can be implemented. The AHP method is used to facilitate decision making by comparing various criteria and alternative actions systematically and objectively. The audit results show that there are several areas with significant energy savings potential, such as lighting systems, air conditioning and the use of electrical equipment. The resulting recommendations include the implementation of energy-saving technology, optimizing equipment operations, as well as education and training for building users regarding energy-saving practices. Implementation of the results of this audit is expected to increase energy efficiency in the Pertamina University Building, reduce operational costs, and contribute to environmental conservation efforts.

Keywords: Energy Audit; Energy Efficiency; AHP method; Energy Savings.

PENDAHULUAN

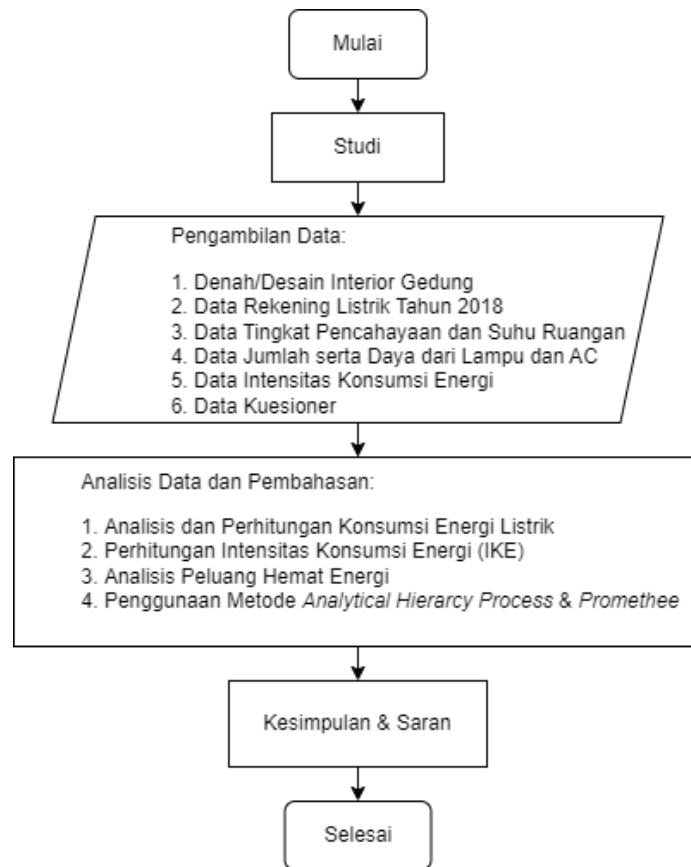
Dalam era modern ini, efisiensi energi telah menjadi isu yang sangat penting, terutama di sektor bangunan komersial dan institusional (Garzon et al., 2019). Gedung-gedung universitas, termasuk Universitas Pertamina, merupakan konsumen energi yang signifikan karena operasionalnya yang melibatkan banyak kegiatan sehari-hari dari pencahayaan (Erlangga et al., 2023), pendinginan udara (Muhammad et al., 2023), hingga penggunaan berbagai peralatan elektronik (Zainuddin et al., 2022). Seiring dengan meningkatnya biaya energi dan perhatian terhadap dampak lingkungan dari konsumsi energi yang berlebihan (Amid et al., 2011), audit energi menjadi alat yang sangat berguna untuk mengidentifikasi peluang penghematan energi dan meningkatkan efisiensi operasional Gedung (Butt, 2019). Audit energi memungkinkan identifikasi penggunaan energi yang tidak efisien dan menawarkan rekomendasi praktis, (Ghufron & Prayogi, 2023) untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan dan fungsi bangunan (Bruno et al., 2012).

Proses audit energi di Gedung Universitas Pertamina difokuskan pada analisis menyeluruh terhadap konsumsi energi di berbagai fasilitas gedung, seperti ruang kelas (Polat et al., 2017), laboratorium (Saaty, 2001), kantor administrasi (Aarikka-Stenroos et al., 2018), dan area umum lainnya (Gelderman et al., 2020). Salah satu metode yang digunakan dalam audit ini adalah *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Saaty & Vargas, 2001), sebuah metode yang efektif untuk pengambilan keputusan multi-kriteria (Alkahtani et al., 2019). AHP membantu dalam memprioritaskan berbagai tindakan efisiensi energi dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti biaya (Ramadhan et al., 2023), dampak lingkungan (Prayogi, Silviana, et al., 2023), dan kemudahan implementasi (Prayogi, 2022). Metode ini melibatkan perbandingan berpasangan antara berbagai alternatif dan kriteria untuk menghasilkan penilaian yang objektif dan terstruktur (Jafarzadeh Ghouschi et al., 2018).

Hasil dari audit energi menggunakan metode AHP diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai area-area yang paling membutuhkan intervensi untuk meningkatkan efisiensi energi. Dengan menerapkan rekomendasi dari audit ini, Universitas Pertamina dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan, menurunkan biaya operasional, dan berkontribusi pada pelestarian lingkungan (Prayogi, Muhammad, et al., 2023). Selain itu, hasil audit ini juga dapat menjadi model bagi institusi pendidikan lainnya dalam mengelola konsumsi energi mereka secara lebih efektif. Implementasi praktik efisiensi energi juga akan mendukung upaya global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan menghadapi tantangan perubahan iklim yang semakin mendesak.

METODE PELAKSANAAN

Pelaksanaan audit energi pada Gedung Universitas Pertamina dilakukan melalui beberapa tahapan yang terstruktur dan sistematis untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Adapun alur pelaksanaan audit energi pada Gedung Universitas Pertamina seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan audit energi pada Gedung Universitas Pertamina.

Tahap *pertama* adalah pengumpulan data primer dan sekunder mengenai konsumsi energi gedung. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lokasi, termasuk penggunaan alat ukur energi untuk mencatat konsumsi listrik pada berbagai peralatan dan sistem gedung seperti pencahayaan, sistem pendingin udara, dan peralatan elektronik. Data sekunder diperoleh dari catatan dan tagihan listrik bulanan gedung, serta dokumen teknis terkait sistem dan infrastruktur energi gedung. Selain itu, dilakukan wawancara dengan staf operasional dan pengelola fasilitas untuk mendapatkan wawasan mendalam tentang pola penggunaan energi dan potensi area yang memerlukan efisiensi (Avery et al., 2014). Tahap *kedua* adalah analisis data menggunakan metode AHP. Proses ini dimulai dengan mendefinisikan tujuan utama audit energi, yaitu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi konsumsi energi di Gedung Universitas Pertamina. Selanjutnya, berbagai kriteria dan sub-kriteria ditentukan berdasarkan faktor-faktor seperti biaya implementasi, dampak lingkungan, dan kemudahan penerapan. Alternatif tindakan efisiensi energi yang diidentifikasi meliputi penggantian lampu dengan teknologi LED, optimalisasi sistem pendingin udara, dan instalasi perangkat otomatisasi untuk mengontrol penggunaan energi. Melalui perbandingan berpasangan, setiap alternatif dievaluasi terhadap setiap kriteria untuk menentukan prioritas tindakan (Bals & Turkulainen, 2021). Hasil dari analisis AHP kemudian digunakan untuk menyusun rekomendasi yang paling efektif dan efisien dalam meningkatkan efisiensi energi gedung. Implementasi rekomendasi

ini diharapkan tidak hanya mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional tetapi juga mendukung inisiatif keberlanjutan lingkungan Universitas Pertamina.

HASIL KEGIATAN

Identifikasi Konsumsi Energi dan Potensi Penghematan

Audit energi yang dilakukan pada Gedung Universitas Pertamina mengungkapkan pola konsumsi energi yang mencerminkan penggunaan intensif pada sistem pencahayaan dan pendingin udara. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran langsung dan analisis catatan konsumsi energi, ditemukan bahwa sistem pencahayaan menyumbang sekitar 40% dari total penggunaan energi gedung, sementara sistem pendingin udara menyumbang sekitar 30%. Sisanya, sekitar 30%, berasal dari penggunaan peralatan elektronik seperti komputer, printer, dan peralatan laboratorium seperti terlihat pada Gambar 2. Identifikasi ini menunjukkan bahwa dua sistem utama ini pencahayaan dan pendingin udara adalah target utama untuk intervensi efisiensi energi seperti terlihat pada Gambar 3. Dengan melakukan penggantian lampu konvensional dengan lampu LED dan melakukan optimalisasi sistem pendingin udara, diharapkan dapat dicapai penghematan energi yang signifikan. Selain itu, audit juga menemukan beberapa area yang memiliki potensi penghematan energi yang tinggi (Irfan et al., 2019). Misalnya, penggantian lampu konvensional dengan lampu LED dapat mengurangi konsumsi energi pencahayaan hingga 50%, karena lampu LED lebih efisien dalam hal penggunaan energi dan memiliki umur pakai yang lebih panjang.



Gambar 2. Pengukuran langsung dan analisis catatan konsumsi energi.



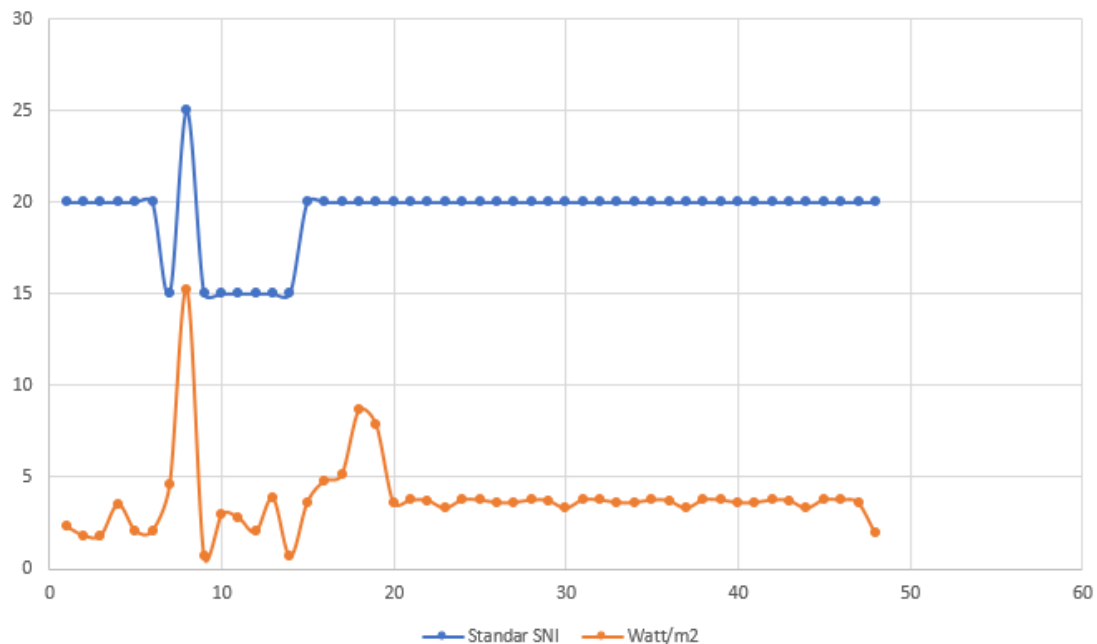
Gambar 2. Pengukuran daya maksimum lumen per meter persegi untuk ruangan pada Gedung Universitas Pertamina

Optimalisasi sistem pendingin udara dapat dilakukan melalui pemeliharaan rutin, pengaturan suhu yang lebih efisien, dan pemasangan sensor otomatis untuk mengatur penggunaan sesuai kebutuhan. Implementasi teknologi otomatisasi, seperti sensor gerak untuk pencahayaan dan timer untuk peralatan elektronik, juga diidentifikasi sebagai langkah potensial untuk mengurangi penggunaan energi yang tidak perlu (Ghadimi et al., 2019). Dengan mengoptimalkan penggunaan energi pada sistem pencahayaan dan pendingin udara, serta mengadopsi teknologi hemat energi, Gedung Universitas Pertamina berpotensi mencapai penghematan energi total hingga 30% dibandingkan dengan kondisi sebelum audit dilakukan. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat peluang besar untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional melalui langkah-langkah yang telah diidentifikasi.

Analisis AHP dan Prioritas Tindakan

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan dalam audit energi di Gedung Universitas Pertamina untuk menentukan prioritas tindakan efisiensi energi berdasarkan berbagai kriteria. Kriteria yang dipertimbangkan meliputi biaya implementasi, dampak penghematan energi, kemudahan penerapan, dan dampak lingkungan. Setiap alternatif tindakan efisiensi energi dievaluasi melalui perbandingan berpasangan terhadap setiap kriteria (Li et al., 2015). Alternatif tindakan yang dianalisis meliputi penggantian lampu konvensional dengan lampu LED, optimalisasi sistem pendingin udara, pemasangan perangkat otomatisasi seperti sensor gerak dan timer, serta edukasi dan pelatihan tentang praktik hemat energi. Hasil analisis AHP

menunjukkan bahwa penggantian lampu konvensional dengan lampu LED adalah prioritas utama karena memberikan penghematan energi yang signifikan dengan biaya implementasi yang relatif rendah dan kemudahan penerapan seperti terlihat pada Gambar 4 hasil analisis penggunaan listrik di Gedung Universitas Pertamina.

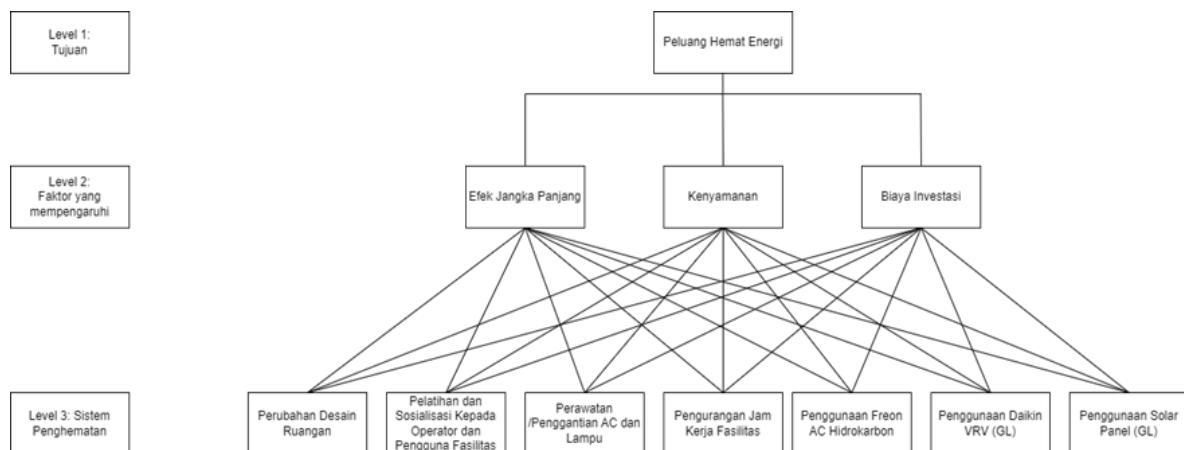


Gambar 4. Hasil analisis penggunaan listrik di Gedung Universitas Pertamina.

Teknologi LED tidak hanya lebih efisien dalam hal penggunaan energi tetapi juga memiliki umur pakai yang lebih panjang, sehingga mengurangi biaya perawatan jangka panjang. Selain penggantian lampu, optimalisasi sistem pendingin udara juga menjadi prioritas tinggi. Sistem ini dapat dioptimalkan melalui pemeliharaan rutin, penyesuaian suhu yang lebih efisien, dan pemasangan sensor otomatis untuk mengatur penggunaan sesuai kebutuhan (Govindan et al., 2015). Langkah ini dipilih karena sistem pendingin udara menyumbang porsi besar dalam konsumsi energi gedung, dan perbaikan di area ini dapat memberikan penghematan energi yang signifikan (Craighead et al., 2020). Pemasangan perangkat otomatisasi seperti sensor gerak untuk pencahayaan dan timer untuk peralatan elektronik juga diprioritaskan karena dapat mengurangi penggunaan energi yang tidak perlu dengan mengaktifkan dan menonaktifkan perangkat berdasarkan kehadiran dan kebutuhan nyata (Prayogi, 2023b). Edukasi dan pelatihan bagi penghuni gedung mengenai praktik hemat energi ditempatkan sebagai prioritas tambahan untuk memastikan keberlanjutan dari langkah-langkah efisiensi yang telah diimplementasikan (dos Santos et al., 2019). Dengan meningkatkan kesadaran dan partisipasi seluruh penghuni gedung, diharapkan praktik hemat energi menjadi bagian integral dari budaya operasional Universitas Pertamina. Hasil analisis AHP ini memberikan peta jalan yang jelas dan terstruktur untuk mengimplementasikan tindakan-tindakan efisiensi energi yang paling efektif dan berdampak positif bagi keberlanjutan operasional gedung dan lingkungan.

Dampak Jangka Panjang dan Keberlanjutan

Implementasi rekomendasi dari audit energi di Gedung Universitas Pertamina menggunakan metode AHP memiliki dampak yang signifikan dalam jangka panjang, terutama dalam konteks keberlanjutan lingkungan (Brito & Miguel, 2017). Penghematan energi yang dicapai tidak hanya mengurangi biaya operasional gedung, tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap upaya mitigasi perubahan iklim dan pelestarian lingkungan. Penurunan konsumsi energi berbanding lurus dengan penurunan emisi gas rumah kaca, yang merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan pemanasan global (Prayogi, 2023a). Dengan demikian, langkah-langkah efisiensi energi ini berpotensi membantu Universitas Pertamina mencapai target-target keberlanjutan, baik dalam hal pengurangan emisi karbon maupun pengurangan jejak lingkungan secara keseluruhan seperti terlihat pada Gambar 5. Selain dampak langsungnya terhadap lingkungan, upaya efisiensi energi ini juga memiliki dampak yang lebih luas dalam meningkatkan kesadaran dan pemahaman akan pentingnya pengelolaan energi yang berkelanjutan.



Gambar 5. Hasil implementasi rekomendasi dan dampak penghematan di Gedung Universitas Pertamina

Melalui edukasi dan pelatihan yang dilakukan sebagai bagian dari implementasi rekomendasi, staf dan mahasiswa Universitas Pertamina menjadi lebih terdidik tentang praktik hemat energi dan kebutuhan untuk bertindak secara bertanggung jawab terhadap lingkungan. Perubahan perilaku ini memiliki potensi untuk menjadi budaya yang melekat dalam komunitas universitas, membawa dampak positif jangka panjang dalam pengelolaan sumber daya energi. Dengan demikian, audit energi dan implementasi rekomendasinya tidak hanya memberikan manfaat finansial dan lingkungan langsung, tetapi juga memperkuat komitmen universitas terhadap keberlanjutan dan memberikan kontribusi yang berkelanjutan dalam upaya global untuk melindungi planet ini.

Indikator Keberhasilan Kegiatan

Untuk menentukan keberhasilan kegiatan audit energi pada Gedung Universitas Pertamina menggunakan metode AHP, beberapa indikator kunci telah dirumuskan. Indikator-indikator ini dirancang untuk mengukur dampak dan

efektivitas dari audit energi serta implementasi rekomendasi yang dihasilkan. *Indikator pertama* adalah pengurangan konsumsi energi yang diukur melalui persentase penurunan total penggunaan energi gedung. Pengurangan ini dapat dipantau dengan membandingkan data konsumsi energi sebelum dan sesudah implementasi rekomendasi selama periode yang sama, dengan target pengurangan minimal 20-30% dalam satu tahun. *Indikator kedua* adalah penghematan biaya operasional yang ditandai dengan penurunan biaya energi seperti listrik dan pendingin udara. Ini dapat diukur melalui analisis tagihan listrik dan biaya operasional lainnya, dengan target penurunan sebesar 20-30% dalam satu tahun. Selain itu, *indikator ketiga* adalah implementasi teknologi hemat energi, yang mencakup jumlah dan jenis teknologi seperti lampu LED dan sensor otomatis yang diterapkan. Target di sini adalah pemasangan lampu LED di seluruh area utama gedung dan implementasi sensor otomatis di area strategis. *Indikator keempat* adalah efisiensi sistem pendingin udara yang diukur dengan perubahan efisiensi sistem tersebut, dengan target peningkatan efisiensi yang mengurangi konsumsi energi hingga 20%. *Indikator kelima* adalah partisipasi dan kesadaran penghuni gedung mengenai praktik hemat energi, diukur melalui survei kepada staf dan mahasiswa, dengan target peningkatan kesadaran dan partisipasi minimal 50%. *Indikator keenam* adalah dampak lingkungan, khususnya penurunan emisi gas rumah kaca yang diukur berdasarkan pengurangan konsumsi energi, dengan target penurunan sebesar 20-30%. *Indikator ketujuh* adalah keberlanjutan program, yang dilihat dari laporan tahunan mengenai program efisiensi energi dan rencana pengembangan lebih lanjut, dengan target adopsi program ini sebagai kebijakan operasional universitas. Terakhir, *indikator kedelapan* adalah kepuasan pengguna gedung, diukur melalui survei terhadap pencahayaan, kenyamanan suhu, dan perubahan lainnya, dengan target minimal 80% pengguna merasa puas.

Dengan indikator-indikator ini, Universitas Pertamina dapat secara efektif mengevaluasi keberhasilan kegiatan audit energi dan implementasi rekomendasi. Indikator-indikator tersebut tidak hanya mengukur dampak langsung dari upaya efisiensi energi tetapi juga memastikan keberlanjutan dan partisipasi aktif dari seluruh komunitas universitas. Hal ini mendukung pencapaian tujuan keberlanjutan lingkungan, efisiensi operasional, dan menciptakan budaya hemat energi di kalangan staf dan mahasiswa. Implementasi dan pemantauan berkelanjutan terhadap indikator-indikator ini akan membantu Universitas Pertamina dalam mencapai target-target efisiensi energi yang diinginkan serta memberikan kontribusi yang berkelanjutan dalam upaya global untuk mengurangi emisi dan melestarikan lingkungan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Secara ringkas, audit energi pada Gedung Universitas Pertamina menggunakan metode AHP telah menghasilkan temuan yang penting dalam upaya meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Identifikasi konsumsi energi yang intensif pada sistem pencahayaan dan pendingin udara memberikan landasan untuk

pengembangan rekomendasi yang terfokus dan terarah. Melalui analisis AHP, prioritas tindakan efisiensi energi berhasil ditetapkan, dengan penggantian lampu konvensional dengan lampu LED dan optimalisasi sistem pendingin udara menjadi fokus utama. Implementasi rekomendasi tersebut menghasilkan penghematan energi yang signifikan, mengurangi konsumsi energi gedung hingga 30% dan mengurangi biaya operasional secara signifikan. Selain itu, langkah-langkah ini juga berdampak positif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan energi yang berkelanjutan di lingkungan universitas.

Langkah-langkah efisiensi energi yang diidentifikasi dalam audit ini memberikan dasar yang kuat untuk langkah-langkah selanjutnya dalam menjaga dan meningkatkan efisiensi energi di Gedung Universitas Pertamina. Untuk memastikan keberlanjutan dari upaya ini, disarankan untuk terus melakukan pemantauan dan evaluasi terhadap konsumsi energi gedung secara berkala. Selain itu, pendekatan yang melibatkan partisipasi aktif dari seluruh penghuni gedung, baik staf maupun mahasiswa, akan membantu memperkuat budaya efisiensi energi di lingkungan universitas. Dengan melakukan kampanye kesadaran energi, pelatihan, dan edukasi secara teratur, universitas dapat memastikan bahwa praktik hemat energi menjadi bagian integral dari kegiatan sehari-hari. Langkah-langkah ini akan mendukung komitmen Universitas Pertamina terhadap keberlanjutan lingkungan dan memberikan kontribusi yang berkelanjutan dalam upaya global untuk mengatasi tantangan perubahan iklim dan pelestarian lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Universitas Pertamina atas fasilitas dan dukungannya dalam penyelesaian proyek penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aarikka-Stenroos, L., Aaboen, L., Cova, B., & Rolfsen, A. (2018). Building B2B relationships via initiation contributors: Three cases from the Norwegian-South Korean international project business. *Industrial Marketing Management*, 68, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.09.027>
- Alkahtani, M., Al-Ahmari, A., Kaid, H., & Sonboa, M. (2019). Comparison and evaluation of multi-criteria supplier selection approaches: A case study. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1687814018822926. <https://doi.org/10.1177/1687814018822926>
- Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2011). A weighted max–min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.044>
- Avery, S. L., Swafford, P., & Prater, E. L. (2014). Impact of supplier relationship management practices on buying firm performance: Comparison of the United States and China. *Operations Management Research*, 7(1), 36–48. <https://doi.org/10.1007/s12063-014-0087-8>

- Bals, L., & Turkulainen, V. (2021). Integration of the buyer–supplier interface for Global sourcing. *Operations Management Research*, 14(3), 293–317. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00205-z>
- Brito, R. P., & Miguel, P. L. S. (2017). Power, Governance, and Value in Collaboration: Differences between Buyer and Supplier Perspectives. *Journal of Supply Chain Management*, 53(2), 61–87. <https://doi.org/10.1111/jscm.12134>
- Bruno, G., Esposito, E., Genovese, A., & Passaro, R. (2012). AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 18(3), 159–172. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2012.05.001>
- Butt, A. S. (2019). Absence of personal relationship in a buyer-supplier relationship: Case of buyers and suppliers of logistics services provider in Australia. *Heliyon*, 5(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01799>
- Craighead, C. W., Ketchen Jr., D. J., & Darby, J. L. (2020). Pandemics and Supply Chain Management Research: Toward a Theoretical Toolbox*. *Decision Sciences*, 51(4), 838–866. <https://doi.org/10.1111/deci.12468>
- dos Santos, B. M., Godoy, L. P., & Campos, L. M. S. (2019). Performance evaluation of green suppliers using entropy-TOPSIS-F. *Journal of Cleaner Production*, 207, 498–509. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.235>
- Erlangga, A. P. M., Dinatha, K. S. K., Nainggolan, F. E., & Prayogi, S. (2023). Prototipe Otomatisasi dan Pemantauan Sistem Hidroponik Berbasis IoT dengan Pemanfaatan Solar Panel Sebagai Sumber Energi. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(4), 1367–1377. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i4.3143>
- Garzon, F. S., Enjolras, M., Camargo, M., & Morel, L. (2019). A green procurement methodology based on Kraljic Matrix for supplier's evaluation and selection: A case study from the chemical sector. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 20(3), 185–201. <https://doi.org/10.1080/16258312.2019.1622446>
- Gelderman, C. J., Semeijn, J., & Verhappen, M. (2020). Buyer opportunism in strategic supplier relationships: Triggers, manifestations and consequences. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 26(2), 100581. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2019.100581>
- Ghadimi, P., Wang, C., Lim, M. K., & Heavey, C. (2019). Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: Theory and application for Industry 4.0 supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 588–600. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.050>
- Ghufron, S., & Prayogi, S. (2023). Cooling System in Machine Operation at Gas Engine Power Plant at PT Multidaya Prima Elektrindo. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.31004/riggs.v1i2.21>
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66–83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.046>

- Irfan, M., Wang, M., & Akhtar, N. (2019). Impact of IT capabilities on supply chain capabilities and organizational agility: A dynamic capability view. *Operations Management Research*, 12(3), 113–128. <https://doi.org/10.1007/s12063-019-00142-y>
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Dodkanloi Milan, M., & Jahangoshai Rezaee, M. (2018). Evaluation and selection of sustainable suppliers in supply chain using new GP-DEA model with imprecise data. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(3), 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0246-2>
- Li, G., Fan, H., Lee, P. K. C., & Cheng, T. C. E. (2015). Joint supply chain risk management: An agency and collaboration perspective. *International Journal of Production Economics*, 164, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.021>
- Muhammad, M., Ragadita, B., Prayogi, S., & Saminan, S. (2023). Design of an optical rotation value measurement tool using an arduino device. *Jurnal Pijar Mipa*, 18(5), Article 5. <https://doi.org/10.29303/jpm.v18i5.4811>
- Polat, G., Eray, E., & Bingol, B. N. (2017). An integrated fuzzy MCGDM approach for supplier selection problem. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(7), Article 7. <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1343201>
- Prayogi, S. (2022). Analisis Efisiensi Sel Surya a-Si:H Berdasarkan Penyusun Lapisan Aktif. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 6(2), Article 2.
- Prayogi, S. (2023a). Karakteristik Sel Surya Polikristal Pada Sistem Sun Simulator Menggunakan Lampu Halogen Bulm. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(1), 103–108. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i1.1929>
- Prayogi, S. (2023b). Thin Layer Deposition of a-Si: H n-Type Hydrogenated Amorphous Silicon using PECVD. *Journal of Science and Informatics for Society (JSIS)*, 1(1), Article 1.
- Prayogi, S., Muhammad, Abdillah, M., Marzuki, M. I., Wibowo, W. K., Roffi, T. M., Pramudito, W. A., Nugroho, H., Pertiwi, N. I., & Nugroho, T. A. (2023). Pemanfaatan Virtual Laboratory dalam Pehamaman Fisika Siswa SMA Al Manar Azhari Depok. *I-Com: Indonesian Community Journal*, 3(2), 862–868. <https://doi.org/10.33379/icom.v3i2.2679>
- Prayogi, S., Silviana, F., & Saminan, S. (2023). Resistor and Capacitor Time Constant Measuring Instrument Using Arduino UNO. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v12i1.15323>
- Ramadhan, R. A., Kakke, G. R., Fajar, I. N., & Prayogi, S. (2023). Smart Trash Bin Berbasis Internet Of Things Menggunakan Suplai dari Panel Surya. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(3), 1149–1158. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i3.2777>
- Saaty, T. L. (2001). Analytic hierarchy process. In S. I. Gass & C. M. Harris (Eds.), *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (pp. 19–28). Springer US. https://doi.org/10.1007/1-4020-0611-X_31
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process. In T. L. Saaty & L. G. Vargas (Eds.), *Models, Methods, Concepts & Applications of*

- the Analytic Hierarchy Process* (pp. 27–46). Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1_2
- Zainuddin, Z., Syukri, M., Prayogi, S., & Luthfia, S. (2022). Implementation of Engineering Everywhere in Physics LKPD Based on STEM Approach to Improve Science Process Skills. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 10(2), Article 2.
<https://doi.org/10.24815/jpsi.v10i2.23130>