

EVALUASI KINERJA PANEL LISTRIK PADA GEDUNG 3 LANTAI DALAM UPAYA PENGHEMATAN ENERGI LISTRIK

Muchamad Fajar Sidiq⁽¹⁾, Sukandar⁽²⁾

⁽¹⁾ Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT)

⁽²⁾ Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT)

email : fuadarfa123@gmail.com

Abstrak Penelitian ini berjudul “Evaluasi Kinerja Panel Listrik pada Gedung 3 Lantai dalam Upaya Penghematan Energi Listrik” yang bertujuan untuk menganalisis efisiensi sistem distribusi daya dan menemukan potensi penghematan energi melalui optimalisasi kinerja panel listrik. Sistem panel listrik berperan penting dalam menjamin distribusi daya yang stabil, aman, dan efisien ke seluruh beban gedung. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, daya aktif, faktor daya, dan rugi daya menggunakan alat ukur digital. Data hasil pengukuran dibandingkan dengan standar efisiensi energi yang berlaku, serta dianalisis untuk mengidentifikasi titik-titik kehilangan energi akibat ketidakseimbangan beban atau kualitas peralatan yang menurun.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi beban pada panel utama masih belum merata, dengan faktor daya rata-rata 0,81 yang masih di bawah standar ideal ($\geq 0,85$). Selain itu, ditemukan potensi rugi daya sebesar 6–8% akibat penggunaan kabel dan MCB yang tidak sesuai kapasitas beban. Dengan penerapan langkah-langkah seperti penyeimbangan beban antar fasa, penggunaan kapasitor bank, serta perawatan berkala, efisiensi sistem dapat ditingkatkan hingga 10%. Kesimpulannya, evaluasi kinerja panel listrik berperan penting dalam strategi penghematan energi pada bangunan bertingkat, sekaligus mendukung implementasi manajemen energi yang berkelanjutan dan hemat biaya operasional.

Kata kunci: Panel Listrik, Efisiensi Energi, Distribusi Daya, Faktor Daya, Penghematan Energi, Gedung Bertingkat

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan meningkatnya aktivitas di lingkungan gedung perkantoran, pendidikan, serta fasilitas publik menyebabkan konsumsi energi listrik semakin tinggi dari tahun ke tahun. Gedung bertingkat, termasuk gedung tiga lantai, umumnya memiliki sistem kelistrikan yang kompleks dengan berbagai beban seperti sistem pencahayaan, pendingin udara (AC), peralatan elektronik, serta pompa air yang beroperasi secara simultan. Salah satu komponen utama yang berperan dalam pengelolaan dan distribusi energi listrik di dalam gedung adalah panel listrik. Panel

listrik berfungsi sebagai pusat kontrol yang mengatur distribusi daya ke seluruh bagian bangunan serta menjamin keamanan dan keandalan sistem kelistrikan (Gonen, 2014).

Namun demikian, dalam banyak kasus, sistem panel listrik di gedung belum dikelola secara efisien. Permasalahan seperti ketidakseimbangan beban antar fasa, rugi daya akibat sambungan longgar, atau pemakaian komponen yang tidak efisien sering kali menimbulkan pemborosan energi. Selain itu, kurangnya perawatan dan evaluasi berkala menyebabkan peningkatan konsumsi energi yang tidak diperlukan. Menurut

Saidur et al. (2010), sekitar 10–20% energi listrik di bangunan komersial dapat dihemat apabila dilakukan audit energi dan perbaikan sistem distribusi daya secara tepat.

Evaluasi kinerja panel listrik menjadi langkah penting dalam mendukung upaya penghematan energi listrik di gedung bertingkat. Evaluasi ini mencakup pengukuran parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, faktor daya, keseimbangan beban, serta efisiensi distribusi daya. Hasil evaluasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik-titik inefisiensi dan potensi peningkatan performa sistem. Dengan kemajuan teknologi monitoring berbasis sensor dan Internet of Things (IoT), proses evaluasi panel listrik dapat dilakukan secara real-time untuk memastikan penggunaan energi yang optimal (Rahman et al., 2021).

Dalam konteks gedung tiga lantai, optimalisasi panel listrik menjadi lebih relevan karena karakteristik beban yang beragam di setiap lantai. Analisis yang baik terhadap distribusi daya, kondisi komponen, dan pola penggunaan energi dapat membantu manajemen gedung dalam menerapkan strategi efisiensi energi, seperti penyeimbangan beban, peningkatan faktor daya, serta modernisasi komponen panel menggunakan peralatan hemat

energi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja panel listrik pada gedung tiga lantai dan mengidentifikasi langkah-langkah teknis yang dapat mendukung penghematan energi listrik secara berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Teori Panel Listrik

Panel listrik merupakan komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik di sebuah bangunan yang berfungsi untuk mengatur, membagi, dan melindungi aliran listrik dari sumber utama ke berbagai beban di seluruh area gedung. Secara umum, panel listrik terdiri dari beberapa bagian penting, yaitu Main Distribution Panel (MDP), Sub Distribution Panel (SDP), dan Final Distribution Board (FDB). Setiap bagian panel memiliki peran tersendiri dalam sistem distribusi daya, mulai dari menerima suplai dari trafo atau sumber listrik utama hingga menyalurkan energi ke titik-titik beban akhir. Dalam pengoperasiannya, panel listrik harus dirancang sesuai standar seperti IEC 61439 atau SNI 04-0225-2000, yang mengatur aspek keamanan, kapasitas, dan tata letak komponen listrik agar sesuai dengan prinsip keselamatan kerja (Gonen, 2014). Kinerja panel listrik dapat diukur melalui berbagai parameter teknis seperti tegangan,

arus, keseimbangan beban antar fasa, faktor daya (power factor), dan rugi daya (losses). Evaluasi terhadap parameter-parameter ini penting dilakukan untuk mengetahui apakah sistem distribusi energi bekerja secara efisien atau mengalami penyimpangan yang dapat menyebabkan pemborosan energi. Ketidakseimbangan beban antar fasa, misalnya, dapat mengakibatkan arus netral yang tinggi serta meningkatkan rugi tembaga (I^2R losses), yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan suhu dan penurunan efisiensi panel (Chapman, 2012). Oleh karena itu, pemeliharaan dan pemeriksaan rutin terhadap panel menjadi bagian penting dalam manajemen energi bangunan.

Selain aspek teknis, faktor operasional dan perawatan juga berperan besar terhadap kinerja panel listrik. Kontak terminal yang longgar, komponen yang sudah usang, serta ventilasi panel yang buruk dapat meningkatkan resistansi internal dan menurunkan performa sistem distribusi daya. Dalam konteks efisiensi energi, panel listrik yang tidak terawat dapat menjadi sumber pemborosan energi yang tidak disadari. Audit energi yang mencakup pemeriksaan panel listrik dapat mengidentifikasi permasalahan ini dan memberikan rekomendasi perbaikan, seperti penyeimbangan beban atau

penggantian komponen dengan efisiensi tinggi (Kreith & Goswami, 2007).

Dengan perkembangan teknologi, panel listrik kini mulai dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis digital yang memungkinkan pengawasan parameter listrik secara real-time. Sistem ini menggunakan sensor arus dan tegangan yang terhubung ke modul komunikasi berbasis Internet of Things (IoT), sehingga operator gedung dapat memantau konsumsi energi melalui platform digital (Rahman et al., 2021). Penggunaan panel cerdas ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi waktu pemeliharaan, serta mendukung strategi penghematan energi di gedung bertingkat. Oleh karena itu, penerapan teknologi monitoring pada panel listrik menjadi langkah penting dalam mewujudkan sistem distribusi energi yang efisien dan berkelanjutan.

Teori Penghematan Energi Listrik

Penghematan energi listrik (energy saving) merupakan upaya sistematis untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi fungsi atau kenyamanan pengguna. Dalam konteks bangunan bertingkat, penghematan energi dapat dilakukan melalui penerapan manajemen energi (energy management) yang

mencakup perencanaan, pemantauan, dan evaluasi terhadap penggunaan energi di seluruh sistem bangunan. Tujuan utama dari manajemen energi adalah untuk meminimalkan pemborosan serta mengoptimalkan efisiensi peralatan listrik dan sistem distribusi daya (Saidur et al., 2010). Evaluasi terhadap panel listrik menjadi bagian penting dari proses ini karena sebagian besar energi listrik bangunan dialirkan dan dikendalikan melalui sistem panel utama.

Strategi penghematan energi listrik dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, seperti penyeimbangan beban listrik antar fasa, peningkatan faktor daya, dan penggantian komponen listrik yang boros energi. Ketidakseimbangan beban antar fasa sering kali terjadi pada gedung bertingkat, terutama jika distribusi peralatan tidak merata. Ketidakseimbangan ini menyebabkan peningkatan arus netral dan rugi energi yang tidak produktif. Dengan melakukan analisis distribusi beban melalui evaluasi panel listrik, pemborosan ini dapat dikurangi secara signifikan (Prajapati & Shah, 2019). Selain itu, penggunaan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya (power factor correction) juga terbukti dapat menurunkan biaya listrik dan meningkatkan efisiensi sistem.

Dari sisi teknologi, penerapan sistem Building Management System (BMS) atau Energy Monitoring System (EMS) dapat membantu memantau konsumsi energi secara real-time. Sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap penggunaan daya berlebih serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam penghematan energi. Misalnya, jika terjadi lonjakan daya pada salah satu lantai gedung, sistem dapat mengidentifikasi penyebabnya dan memberikan notifikasi kepada pengelola. Hal ini tidak hanya membantu dalam penghematan energi tetapi juga meningkatkan reliabilitas sistem kelistrikan (Rahman et al., 2021). Dalam jangka panjang, penghematan energi melalui evaluasi panel listrik juga berkontribusi terhadap penurunan emisi karbon dan biaya operasional gedung.

Selain manfaat teknis dan ekonomis, penghematan energi listrik juga memiliki dampak lingkungan dan kebijakan strategis. Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Pemerintah Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi menekankan pentingnya pengelolaan energi yang efisien di sektor bangunan. Implementasi penghematan energi pada gedung tiga lantai melalui optimalisasi panel listrik sejalan dengan kebijakan tersebut, sekaligus mendukung pencapaian

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs), khususnya poin ke-7 tentang energi bersih dan terjangkau. Oleh karena itu, penelitian mengenai evaluasi panel listrik bukan hanya memiliki relevansi teknis, tetapi juga bernilai strategis dalam mendukung transisi menuju bangunan hijau dan efisien energi.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja panel listrik berdasarkan hasil pengukuran parameter kelistrikan dan kondisi aktual sistem distribusi daya di gedung tiga lantai. Pendekatan deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai efisiensi dan performa panel listrik, sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk menilai sejauh mana penggunaan energi listrik dapat dioptimalkan melalui perbaikan sistem. Objek penelitian difokuskan pada panel utama (Main Distribution Panel) dan panel subdistribusi di setiap lantai gedung. Penelitian dilakukan dengan tahapan utama berupa survei lapangan, pengumpulan data teknis, pengukuran parameter listrik, serta analisis hasil terhadap potensi penghematan energi.

Tahap pengumpulan data dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pengamatan langsung (observasi lapangan) dan pengukuran menggunakan instrumen kelistrikan. Pengukuran dilakukan dengan alat bantu seperti multimeter digital, clamp meter, dan power quality analyzer untuk memperoleh data arus, tegangan, faktor daya, frekuensi, serta ketidakseimbangan beban antar fasa. Selain itu, dilakukan pula pengecekan terhadap komponen-komponen panel seperti busbar, MCB (Miniature Circuit Breaker), MCCB (Molded Case Circuit Breaker), terminal konektor, dan sistem pentanahan. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar kelistrikan yang berlaku, seperti SNI 04-0225-2000 dan IEC 61439, guna menentukan apakah kondisi panel listrik masih memenuhi kriteria performa dan efisiensi yang disyaratkan.

Tahap analisis dilakukan dengan mengolah data hasil pengukuran untuk menentukan nilai efisiensi distribusi daya, rugi energi, dan potensi penghematan energi listrik. Analisis faktor daya dan keseimbangan beban digunakan untuk mengidentifikasi penyebab inefisiensi, sedangkan evaluasi performa komponen dilakukan untuk mengetahui kebutuhan perawatan atau penggantian. Hasil analisis kemudian digunakan untuk memberikan rekomendasi

teknis, seperti penyeimbangan beban, perbaikan koneksi terminal, penambahan kapasitor bank, atau modernisasi panel dengan sistem monitoring digital berbasis IoT. Dengan metode ini, penelitian diharapkan mampu memberikan solusi konkret bagi pengelola gedung tiga lantai dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik secara berkelanjutan dan aman sesuai prinsip konservasi energi nasional.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada sebuah gedung tiga lantai (Gedung PNJ dan Unisfat Demak) yang digunakan sebagai fasilitas perkantoran dan ruang perkuliahan. Sistem kelistrikan gedung bersumber dari jaringan PLN 3 fasa dengan kapasitas daya terpasang sebesar 66 kVA. Distribusi energi dilakukan melalui satu Main Distribution Panel (MDP) yang terletak di lantai dasar, kemudian diteruskan ke tiga Sub Distribution Panel (SDP) yang masing-masing melayani beban di tiap lantai. Setiap lantai memiliki jenis beban yang berbeda, meliputi sistem pencahayaan, stop kontak peralatan elektronik, serta pendingin udara (AC split). Secara umum, sistem instalasi listrik telah memenuhi

standar SNI 04-0225-2000, namun evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa distribusi daya dan penggunaan energi berlangsung secara efisien.

Hasil Pengukuran Parameter Listrik

Pengukuran parameter listrik dilakukan pada setiap panel menggunakan power quality analyzer dan clamp meter selama jam operasional gedung. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus listrik yang mengalir pada ketiga fasa tidak seimbang. Fasa R memiliki arus rata-rata sebesar 74 A, fasa S sebesar 63 A, dan fasa T sebesar 57 A. Ketidakseimbangan beban ini mencapai 12,5%, yang melebihi batas toleransi standar IEEE 1159 sebesar 10%. Tegangan antar fasa tercatat relatif stabil di kisaran 380–385 V, namun terdapat fluktuasi kecil pada fasa T akibat beban dinamis dari AC yang beroperasi tidak serentak. Faktor daya (power factor) rata-rata yang terukur adalah 0,82 lagging, menunjukkan bahwa masih terdapat daya reaktif cukup besar yang dapat dikompensasi dengan pemasangan kapasitor bank.

Selain itu, hasil pengukuran menunjukkan adanya rugi daya (losses) sebesar 5,8% dari total energi yang disalurkan. Nilai ini tergolong tinggi untuk sistem distribusi internal gedung. Rugi daya tersebut

terutama berasal dari kabel penghantar panjang dengan ukuran konduktor yang tidak seragam serta konektor terminal pada panel yang mengalami pemanasan. Suhu rata-rata pada konektor busbar mencapai 48°C , yang mendekati batas aman operasi (maksimum 50°C). Hal ini mengindikasikan bahwa perlu dilakukan pemeriksaan lebih lanjut terhadap sistem sambungan, termasuk pengencangan ulang terminal dan pembersihan titik kontak. Data ini menunjukkan bahwa meskipun sistem masih berfungsi baik, efisiensi energi belum tercapai secara optimal.

Analisis Kinerja Panel Listrik

Hasil pengukuran dan observasi menunjukkan bahwa kinerja panel listrik gedung tiga lantai masih dapat ditingkatkan melalui beberapa langkah teknis. Ketidakseimbangan beban antar fasa menyebabkan distribusi daya tidak merata, sehingga sebagian fasa bekerja mendekati batas kapasitas arus nominal, sementara fasa lain masih di bawah kapasitas. Kondisi ini menimbulkan rugi energi tambahan pada penghantar netral dan meningkatkan konsumsi listrik total gedung. Berdasarkan perhitungan, dengan menyeimbangkan beban antar fasa hingga perbedaan arus maksimum 5%, maka potensi penghematan energi dapat

mencapai 3–4% dari total konsumsi bulanan. Langkah ini dapat dilakukan dengan menata ulang sambungan beban, terutama pada sirkuit AC dan sistem pencahayaan.

Selanjutnya, faktor daya sebesar 0,82 menunjukkan bahwa masih terdapat beban induktif tinggi dari motor dan kompresor AC. Jika dilakukan kompensasi daya reaktif dengan menambahkan kapasitor bank berkapasitas 20 kVAr, maka faktor daya dapat ditingkatkan hingga 0,95, yang sesuai dengan rekomendasi PLN. Berdasarkan analisis tagihan listrik, peningkatan faktor daya ini berpotensi menurunkan biaya listrik sekitar 6–8% per bulan, selain juga mengurangi rugi energi pada sistem distribusi internal. Oleh karena itu, penerapan perbaikan faktor daya menjadi salah satu strategi utama dalam upaya efisiensi energi listrik di gedung ini. Selain aspek teknis, kondisi fisik panel listrik juga mempengaruhi performa sistem. Hasil observasi menunjukkan adanya debu dan korosi ringan pada terminal serta ventilasi panel yang kurang optimal. Hal ini dapat mempercepat degradasi komponen dan meningkatkan resistansi kontak. Perawatan berkala seperti pembersihan panel, pengencangan konektor, dan inspeksi termal inframerah perlu dijadwalkan secara rutin untuk

menjaga keandalan sistem. Implementasi sistem monitoring berbasis IoT juga direkomendasikan agar data arus, tegangan, dan suhu panel dapat dipantau secara real-time melalui antarmuka digital. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga membantu mendeteksi dini potensi gangguan yang dapat menyebabkan pemborosan energi atau kerusakan sistem.

Pembahasan

Berdasarkan hasil evaluasi, dapat disimpulkan bahwa panel listrik gedung tiga lantai belum beroperasi secara efisien meskipun masih memenuhi batas aman operasional. Ketidakseimbangan beban, rendahnya faktor daya, dan rugi energi akibat sambungan longgar menjadi penyebab utama pemborosan energi listrik. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan strategi manajemen energi listrik berbasis evaluasi panel sangat penting untuk mengurangi konsumsi energi tanpa harus mengganti sistem utama. Temuan ini sejalan dengan penelitian Saidur et al. (2010) yang menyebutkan bahwa penghematan energi di bangunan dapat mencapai 10–20% melalui optimalisasi distribusi daya dan perawatan sistem kelistrikan.

Dengan melakukan penyeimbangan beban, pemasangan kapasitor bank, serta modernisasi panel dengan sistem monitoring digital, efisiensi energi dapat ditingkatkan secara signifikan. Hasil analisis menunjukkan potensi penghematan energi listrik hingga 10–12% per bulan setelah tindakan perbaikan dilakukan. Selain itu, peningkatan faktor daya hingga di atas 0,95 akan memperpanjang umur peralatan dan mengurangi kerugian daya pada penghantar. Hal ini juga mendukung kebijakan konservasi energi nasional yang tertuang dalam PP No. 70 Tahun 2009. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengelola gedung untuk melakukan audit energi secara berkala dan menerapkan sistem manajemen energi berbasis data guna mewujudkan bangunan yang hemat energi, aman, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Altwies, J. E., & Baran, M. E. (2018). Improving electrical panel efficiency through optimal load balancing. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(6), 6204–6212.
- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2015). *Electronic Devices and Circuit Theory* (11th ed.). Pearson.
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

- Gonen, T. (2014). *Electrical Power Distribution System Engineering* (3rd ed.). CRC Press.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *Energy Efficiency 2020: Analysis and Outlooks to 2040*. Paris: IEA Publications.
- Kreith, F., & Goswami, D. Y. (2007). *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy*. CRC Press.
- Prajapati, J., & Shah, A. (2019). Electrical energy conservation by improving power quality and load management. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 8(5), 256–262.
- Rahman, M. M., Hassan, M. Y., & Abdullah, H. (2021). IoT-based monitoring system for power distribution panels in commercial buildings. *IEEE Access*, 9, 125645–125657.
- Saadat, H. (2010). *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- Saidur, R., Masjuki, H. H., & Jamaluddin, M. Y. (2010). Energy use, energy savings and emission analysis in Malaysian office buildings. *Energy Policy*, 38(8), 4093–4102.