



Analisis Strategi *Load shifting* sebagai Implementasi *Demand Side Management* dalam Sistem *Smart Grid*

Nurul Muhammad Farouq¹⁾, Haikal Ali²⁾, Hafidz Ibnu Maulidi³⁾

^{1,2,3)} Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Siliwangi

E-mail: 227002050@student.unsil.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan penetrasi energi terbarukan dan pertumbuhan beban listrik yang semakin dinamis menuntut sistem tenaga modern untuk memiliki mekanisme pengelolaan permintaan energi yang lebih adaptif. Salah satu strategi yang memiliki kontribusi signifikan dalam mendukung stabilitas dan efisiensi jaringan adalah *load shifting* sebagai bagian dari *Demand Side Management* (DSM). Strategi ini memungkinkan penggeseran konsumsi energi dari periode beban puncak menuju periode beban rendah tanpa mengurangi kebutuhan energi total. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran, teknik optimasi, manfaat teknis, serta tantangan implementasi *load shifting* dalam sistem *Smart Grid*. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap hasil penelitian terdahulu yang membahas DSM, *load shifting*, *Smart Grid*, optimasi energi, dan integrasi energi terbarukan. Hasil kajian menunjukkan bahwa *load shifting* mampu menurunkan beban puncak, meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan, serta mengurangi biaya operasional sistem. Di sisi teknis, strategi ini memperbaiki profil beban, menurunkan tekanan pada infrastruktur distribusi, dan meningkatkan keandalan jaringan. Meski demikian, implementasi di Indonesia masih menghadapi kendala berupa keterbatasan infrastruktur *Smart Grid*, regulasi tarif dinamis yang belum optimal, dan tingkat kesiapan konsumen yang bervariasi. Kajian ini menyimpulkan bahwa *load shifting* merupakan strategi penting dalam mendukung transformasi sistem tenaga menuju operasi yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan, terutama pada era transisi energi nasional.

Kata Kunci: *Load shifting*, *Demand Side Management*, *Smart Grid*, Efisiensi energi, Optimasi beban.

ABSTRACT

The increasing penetration of renewable energy and the growing variability of electrical loads require modern power systems to adopt more adaptive demand management strategies. One of the most impactful approaches is load shifting, a key component of Demand Side Management (DSM), which enables the transfer of electricity consumption from peak periods to off-peak periods without reducing the total energy demand. This study aims to analyze the role, optimization techniques, technical benefits, and implementation challenges of load shifting within Smart Grid systems. The research employs a literature review method by examining previous studies on DSM, load shifting, Smart Grids, energy optimization, and renewable integration. The findings indicate that load shifting can reduce peak load, enhance renewable energy utilization, and lower operational costs. Technically, this strategy improves load profiles, reduces stress on distribution infrastructure, and enhances system reliability. However, implementation in Indonesia still encounters obstacles, including limited Smart Grid infrastructure, underdeveloped dynamic pricing regulations, and varying levels of consumer readiness. This study concludes that load shifting is a crucial strategy for supporting the transformation of national power systems toward smarter, more efficient, and sustainable operations, especially in the context of ongoing energy transition.

Keyword: *Load shifting*, *Demand Side Management*, *Smart Grid*, *Energy efficiency*, *Load optimization*.

1. Pendahuluan

Peningkatan Perkembangan sistem tenaga listrik modern menunjukkan pergeseran menuju jaringan yang lebih cerdas, adaptif, dan efisien, terutama melalui penerapan teknologi *Smart Grid* yang memungkinkan integrasi energi terbarukan secara masif. *Smart Grid* memanfaatkan komunikasi digital, sensor real-time, dan kemampuan otomasi untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, dan kualitas daya dibandingkan jaringan konvensional [1]. Di sisi lain, meningkatnya penetrasi energi terbarukan seperti surya dan angin menyebabkan sistem tenaga menghadapi tantangan ketidakstabilan akibat intermitensi produksi energi. Variabilitas ini menuntut adanya strategi pengelolaan beban yang lebih responsif dan adaptif.

Salah satu mekanisme kunci untuk mengatasi tantangan ini adalah *Demand Side Management* (DSM). DSM merupakan program strategis untuk mengatur pola konsumsi energi konsumen agar selaras dengan kondisi pasokan energi, khususnya ketika energi terbarukan menjadi sumber utama [2]. DSM memungkinkan pengurangan beban puncak, pengendalian permintaan energi, dan peningkatan efisiensi konsumsi melalui berbagai teknik seperti *load shifting*, *peak clipping*, serta integrasi sistem penyimpanan energi [3].

Di antara berbagai strategi DSM, *load shifting* menjadi salah satu pendekatan paling efektif. *Load shifting* menggeser konsumsi energi dari periode harga tinggi atau beban puncak ke periode harga rendah atau saat pasokan energi terbarukan melimpah, tanpa mengurangi total konsumsi energi [4]. Teknik ini terbukti mampu menurunkan biaya operasional, mengurangi *Peak-to-Average Ratio* (PAR), serta meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan dalam berbagai skenario seperti mikogrid, smart home, maupun sistem distribusi perkotaan [5], [6].

Indonesia, sebagai negara dengan potensi energi terbarukan yang besar, terutama PLTS, sangat diuntungkan oleh penerapan DSM dan *load shifting* untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi jaringan. Namun, kesiapan infrastruktur, regulasi, dan kesiapan konsumen masih menjadi faktor penentu keberhasilan implementasinya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penerapan strategi *load shifting* dalam mengoptimalkan konsumsi energi rumah tangga serta menurunkan beban puncak pada sistem kelistrikan. Upaya ini didukung oleh hasil studi eksperimental yang menunjukkan bahwa integrasi Energy Internet pada sistem mikogrid mampu memberikan penghematan biaya energi yang signifikan melalui manajemen beban berbasis harga dan kondisi ketersediaan daya terbarukan [13]. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi potensi beban rumah tangga yang dapat dialihkan (*shiftable loads*), seperti peralatan pendingin dan beban siklik lainnya, dengan mempertimbangkan karakteristik operasional dan batasan kenyamanan pengguna sebagaimana dianalisis dalam kajian komprehensif mengenai potensi *load shifting* pada peralatan domestik [14]. Selanjutnya, penelitian ini menargetkan pengembangan model penjadwalan optimal yang memadukan penggunaan energi surya, sistem penyimpanan energi (baterai), dan beban berpindah, sehingga mampu memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus meminimalkan pembelian energi dari jaringan listrik utama, sejalan dengan pendekatan optimasi pada bangunan rumah tinggal ber-PV yang terhubung jaringan [15]. Melalui pencapaian tujuan-tujuan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi energi, pengurangan biaya operasional kelistrikan rumah tangga, serta penguatan stabilitas sistem energi pada konteks implementasi *Smart Grid* di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Bagian Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan pada bagian pendahuluan, penelitian ini berfokus pada analisis strategi *load shifting* sebagai implementasi *Demand Side Management* (DSM) dalam sistem *Smart Grid*. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*), yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai konsep, teknik, serta dampak penerapan *load shifting* terhadap efisiensi dan stabilitas sistem tenaga listrik.

3. Hasil dan Pembahasan

Sebagai bagian dari penelitian berbasis studi literatur, analisis pada bagian ini disusun dengan mengkaji berbagai temuan dari jurnal-jurnal internasional dan nasional yang berkaitan dengan *Smart Grid*, *Demand Side Management* (DSM), *load shifting*, integrasi energi terbarukan, serta optimasi sistem tenaga. Tujuan kajian ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai peran strategi *load shifting* dalam mendukung efisiensi dan stabilitas sistem tenaga modern. Melalui pendekatan literatur, berbagai perkembangan teknologi, metode optimasi, serta implementasi nyata di berbagai negara digunakan sebagai dasar untuk menilai relevansi dan potensi penerapannya di Indonesia.

Perkembangan *Smart Grid* mendorong perubahan paradigma pengelolaan energi dari pendekatan tradisional—yang berfokus pada peningkatan kapasitas pembangkitan—ke pendekatan modern yang menekankan fleksibilitas beban dan partisipasi aktif konsumen. Berbagai sumber menunjukkan bahwa peningkatan penetrasi energi terbarukan membawa tantangan intermitensi yang hanya dapat ditangani melalui koordinasi yang lebih baik antara sisi suplai dan sisi permintaan [1]. Dalam konteks inilah DSM dan khususnya *load shifting* memainkan peran utama. Analisis literatur juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital seperti IoT, smart meter, sistem prediksi, dan algoritma optimasi semakin memperkuat efektivitas DSM dalam berbagai skenario kelistrikan di seluruh dunia [2].

Dengan dasar tersebut, bagian berikut memaparkan hasil kajian literatur mengenai konsep DSM, strategi *load shifting*, manfaat teknisnya, serta tantangan dan peluang implementasinya, khususnya dalam konteks sistem tenaga listrik Indonesia.

A. Konsep dan Peran Strategi *Load shifting* dalam Demand Side Management

DSM adalah perencanaan, pelaksanaan, dan pemantauan aktivitas perusahaan utilitas yang dirancang untuk memengaruhi penggunaan listrik oleh pelanggan. Sebagai hasilnya, DSM mengubah pola waktu dan besarnya beban listrik pada utilitas. Biasanya, tujuan utama DSM adalah mendorong pengguna untuk mengonsumsi lebih sedikit daya selama periode beban puncak untuk meratakan kurva permintaan. Terkadang, alih-alih meratakan kurva, lebih diinginkan agar pola permintaan mengikuti pola pembangkitan listrik [10]. Dalam konteks *Smart Grid*, DSM menjadi sangat penting karena sistem tenaga modern menghadapi fluktuasi akibat penetrasi energi terbarukan yang semakin tinggi. Integrasi energi surya, angin, dan sumber terbarukan lainnya menciptakan variabilitas suplai sehingga membutuhkan mekanisme responsif dari sisi beban untuk menjaga keseimbangan sistem [1]. Melalui DSM, utilitas dapat mengurangi beban puncak, meningkatkan efisiensi operasional, dan meminimalkan biaya produksi energi. Selain itu, DSM modern ditopang oleh teknologi komunikasi dua arah, *smart meter*, *Internet of Things* (IoT), dan algoritma pengoptimalan, sehingga pengelolaan energi dapat dilakukan secara otomatis dan *real-time* [2].

B. Metode Optimasi *Load shifting*

Load shifting berarti menggeser waktu penggunaan energi listrik dari periode harga tinggi (peak period) ke periode harga rendah (off-peak) dengan memanfaatkan sistem penyimpanan energi (baterai), sehingga kebutuhan beban puncak dapat dipenuhi tanpa mengganggu kebiasaan pelanggan [11]. *Load shifting* merupakan salah satu strategi DSM yang paling efektif untuk mengurangi beban puncak dan meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan. Teknik ini dilakukan dengan menggeser konsumsi energi dari jam sibuk ke periode beban rendah atau saat energi terbarukan tersedia dalam jumlah besar, tanpa mengurangi total energi yang digunakan. Implementasi *load shifting* banyak diterapkan pada *smart home*, mikogrid, dan sistem distribusi modern melalui penjadwalan otomatis perangkat seperti AC, mesin cuci, pemanas air, hingga pengisian kendaraan listrik [3]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *load shifting* mampu menurunkan *peak-to-average ratio* (PAR), mengoptimalkan biaya energi, serta mengurangi curtailment energi terbarukan, sehingga meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan [4]. Untuk mencapai kinerja terbaik, *load shifting* umumnya dikombinasikan dengan algoritma optimasi seperti *genetic algorithm*, *particle swarm optimization*, maupun *ANFIS-PSO hybrid*, yang terbukti meningkatkan efektivitas penjadwalan beban dalam berbagai skenario [5].

C. Manfaat dan Dampak Teknis terhadap Sistem Tenaga Listrik

Penerapan *load shifting* memberikan berbagai manfaat teknis bagi sistem tenaga listrik. Dari sisi operasional, *load shifting* membantu mengurangi beban puncak yang sering kali menyebabkan penurunan kualitas daya, kelebihan pembebanan pada trafo distribusi, dan peningkatan rugi-rugi jaringan. Dengan mengurangi tekanan pada jam puncak, umur peralatan jaringan dapat meningkat karena berkurangnya beban termal pada komponen kritis [6]. Selain itu, *load shifting* memungkinkan integrasi energi terbarukan yang lebih stabil, karena konsumsi dapat diarahkan ke periode saat energi terbarukan tersedia melimpah. Karena beban dipindahkan waktunya atau bahkan lokasinya (tergantung program), ini bisa mengubah profil aliran daya, rugi-rugi, voltase, dan kondisi stabilitas jaringan [12]. Hal ini sangat penting dalam sistem dengan penetrasi tinggi energi surya atau angin yang bersifat intermiten [7]. Dari perspektif ekonomi, *load shifting* terbukti mampu menurunkan biaya operasional baik bagi utilitas maupun konsumen, terutama ketika digabungkan dengan tarif dinamis seperti TOU dan RTP. Secara keseluruhan, *load shifting* meningkatkan efisiensi jaringan, mengurangi PAR, dan mendorong terciptanya sistem tenaga yang lebih berkelanjutan.

D. Tantangan dan Peluang Implementasi di Indonesia

Implementasi *load shifting* di Indonesia memiliki potensi besar, namun masih menghadapi sejumlah tantangan. Keterbatasan infrastruktur *Smart Grid*, seperti rendahnya penetrasi smart meter, menjadi hambatan utama dalam penerapan DSM secara penuh. Selain itu, pemahaman konsumen mengenai manfaat *load shifting* dan mekanisme tarif dinamis masih relatif rendah, sehingga diperlukan program edukasi yang lebih intensif [8]. Tantangan lain muncul dari variabilitas energi terbarukan, khususnya PLTS yang sangat bergantung pada kondisi cuaca, sehingga dibutuhkan sistem prediksi dan penyimpanan energi yang lebih andal. Dari sisi regulasi, penerapan TOU maupun tarif dinamis lainnya belum diadopsi secara luas, padahal mekanisme tersebut terbukti menjadi pendorong utama keberhasilan *load shifting* di berbagai negara. Meskipun demikian, peluang implementasi di Indonesia sangat besar. Pertumbuhan penggunaan perangkat IoT, meningkatnya minat terhadap kendaraan listrik, serta komitmen pemerintah untuk mencapai *Net Zero Emission 2060* menjadi faktor penting yang dapat mempercepat adopsi *load shifting*. Potensi energi terbarukan nasional yang sangat besar, terutama energi surya, menjadikan strategi ini relevan untuk meningkatkan efisiensi sistem tenaga sekaligus mendukung transisi menuju energi bersih [9].

E. Sintesis Hasil Kajian

Berdasarkan kajian literatur yang dilakukan, terlihat bahwa perkembangan *Smart Grid* dan meningkatnya penetrasi energi terbarukan menuntut adanya strategi pengelolaan beban yang lebih adaptif dan cerdas. *Demand Side Management (DSM)*, khususnya melalui mekanisme *load shifting*, menjadi salah satu pendekatan yang paling menonjol untuk menjawab kebutuhan tersebut. Dari berbagai penelitian yang dianalisis, *load shifting* terbukti mampu mengurangi tekanan pada sistem tenaga ketika beban puncak terjadi, sekaligus memungkinkan pemanfaatan energi terbarukan secara lebih optimal.

Kajian juga menunjukkan bahwa efektivitas *load shifting* semakin meningkat seiring kemajuan teknologi digital seperti smart meter, *Internet of Things (IoT)*, serta algoritma optimasi. Teknologi-teknologi tersebut memungkinkan proses penjadwalan beban dilakukan secara otomatis, presisi, dan responsif terhadap perubahan kondisi jaringan maupun harga energi. Dengan demikian, *load shifting* tidak hanya berfungsi sebagai instrumen pengaturan beban, tetapi juga sebagai mekanisme adaptif yang mampu mengakomodasi karakteristik energi terbarukan yang bersifat intermiten.

Di sisi lain, implementasi *load shifting* memerlukan dukungan infrastruktur, kebijakan, dan kesiapan konsumen. Beberapa literatur menyoroti adanya kesenjangan antara potensi teknis dan kesiapan lapangan, terutama pada sistem tenaga di negara berkembang. Namun, sebagian besar kajian sepakat bahwa dengan peningkatan infrastruktur dan edukasi konsumen, *load shifting* dapat menjadi strategi transformatif dalam meningkatkan keandalan jaringan dan efisiensi energi. Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa *load shifting* memiliki kontribusi signifikan dalam menciptakan sistem tenaga yang lebih tangguh, efisien, dan selaras dengan arah transisi energi global.

4. Kesimpulan

Dari keseluruhan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa *load shifting* merupakan strategi penting dalam mendukung modernisasi sistem tenaga listrik berbasis *Smart Grid*. *Load shifting* memberikan manfaat yang luas, mulai dari pengurangan beban puncak, peningkatan keandalan jaringan, efisiensi biaya, hingga optimalisasi pemanfaatan energi terbarukan. Sebagai bagian dari *Demand Side Management* (DSM), strategi ini juga memainkan peran dalam memperkuat fleksibilitas sistem tenaga, terutama ketika integrasi energi terbarukan semakin besar dan variabilitas suplai menjadi tantangan utama.

Kemajuan teknologi digital semakin memperkuat relevansi *load shifting*, karena memungkinkan pengoperasian sistem yang lebih otomatis, adaptif, dan terukur. Perangkat pintar, sensor, serta algoritma optimasi menjadikan *load shifting* tidak hanya sebagai konsep teoretis, tetapi sebagai solusi praktis yang dapat diterapkan di berbagai konteks, termasuk sektor rumah tangga, industri, dan mikogrid.

Namun demikian, implementasi *load shifting* memerlukan dukungan regulasi, infrastruktur, dan perubahan perilaku konsumen. Tanpa tiga faktor tersebut, manfaat *load shifting* tidak dapat dimaksimalkan. Indonesia memiliki peluang besar untuk mengadopsi strategi ini mengingat potensi energi terbarukan yang sangat tinggi, pertumbuhan teknologi digital, dan meningkatnya kebutuhan akan sistem tenaga yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, *load shifting* dapat menjadi pilar penting dalam transformasi energi nasional. Dengan penerapan yang tepat, strategi ini mampu membawa sistem tenaga menuju kondisi yang lebih stabil, ekonomis, dan mampu mendukung target jangka panjang dalam transisi menuju energi bersih.

5. Daftar Pustaka

- [1] O. E. Dragomir and F. Dragomir, "Application of Scheduling Techniques for Load-Shifting in Smart Homes with Renewable-Energy-Sources Integration," *Buildings*, vol. 13, no. 1, p. 134, 2023.
- [2] M. S. Bakare, A. Abdulkarim, M. Zeeshan, and A. N. Shuaibu, "A Comprehensive Overview on Demand Side Energy Management Towards *Smart Grids*: Challenges, Solutions, and Future Direction," *Energy Informatics*, vol. 6, no. 1, 2023.
- [3] B. Canizes, B. Mota, P. Ribeiro, and Z. Vale, "Demand Response Driven by Distribution Network Voltage Limit Violation: A Genetic Algorithm Approach for *Load shifting*," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 62183–62199, 2022.
- [4] A. T. Dahiru, D. Daud, C. W. Tan, Z. T. Jagun, S. Samsudin, and A. M. Dobi, "A Comprehensive Review of *Demand Side Management* in Distributed Grids Based on Real Estate Perspectives," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 34, pp. 81984–82013, 2023.
- [5] P. D. K. Manembu, A. Kewo, R. Bramstoft, and P. S. Nielsen, "A Systematic Review on Residential Electricity Load-Shifting at the Appliance Level," *Energies*, vol. 16, no. 23, p. 7828, 2023.
- [6] M. Faradji, T. M. Layadi, and K. Rouabah, "A Hybrid APSO–ANFIS Optimization Based *Load shifting* Technique for *Demand Side Management* in *Smart Grids*," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 39, no. 1, pp. 45–61, 2025.
- [7] C. A. Osaretin, E. Ibhadoe, and S. O. Igbinoia, "Design and Implementation of Automatic Changeover Switch (with Step Loading) for Renewable Energy Systems," *International Journal of Renewable Energy & Environment*, vol. 2, pp. 179–192, 2016.
- [8] B. Hussain, *Demand Side Management in Smart Grid*, Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., COMSATS Univ. Islamabad, Pakistan, 2019.
- [9] "Ensuring the Reduction in Peak Load Demands Based on *Load shifting* DSM Strategy for *Smart Grid* Applications," unpublished internal paper, 2019.
- [10] Gelazanskas, L., & Gamage, K. A. (2014). Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction. *Sustainable Cities and Society*, 11, 22-30.
- [11] Parra, D., Norman, S. A., Walker, G. S., & Gillott, M. (2016). Optimum community energy storage system for demand load shifting. *Applied energy*, 174, 130-143.
- [12] Zhang, W., & Zavala, V. M. (2023). Quantifying space-time load shifting flexibility in electricity markets. *Computers & Chemical Engineering*, 177, 108338.
- [13] A. M. Jasim, B. H. Jasim, S. Mohseni, and A. C. Brent, "Energy Internet-Based Load Shifting in Smart Microgrids: An Experimental Study," *Energies*, vol. 16, no. 13, p. 4957, 2023.
- [14] M. Moya, A. García, S. Martín, E. Fuentes, and R. Barrios, "The Load Shifting Potential of Domestic Refrigerators in Smart Grids: A Comprehensive Review,"

- [15] S. A. Kalogirou, F. P. García, L. M. Fernández, and R. Dufo-López, "Optimal Scheduling of Energy Storage and Shiftable Loads in Grid-Connected Residential Buildings with Photovoltaic Systems," *Energies*, vol. 17, no. 21, p. 5264, 2024.