

Integrasi Smart Grid dan Energi Terbarukan 2025: Peluang Ekonomi Hijau atau Beban Kebijakan?

Isu Kunci

Policy Brief ini memuat poin-poin penting sebagai berikut :

- 1) Investasi awal yang tinggi dalam implementasi *Smart Grid* memerlukan biaya besar dan belum ada standar komunikasi perangkat yang seragam, sehingga investor cenderung berhati-hati dalam menanamkan modal.
- 2) Kurangnya koordinasi kebijakan dan regulasi yang menaungi penerapan *Smart Grid* menyebabkan implementasi berjalan lambat, tidak terintegrasi, dan belum memberikan kepastian hukum bagi pelaku industri.
- 3) Potensi efisiensi energi dan pengurangan emisi menunjukkan bahwa *Smart Grid* memiliki kemampuan meningkatkan efisiensi 15-25% dan menurunkan emisi karbon hingga 20%, namun realisasinya memerlukan infrastruktur pendukung yang memadai.
- 4) Saat ini belum ada kerangka regulasi eksplisit yang wajibkan operator jaringan distribusi menerapkan *Smart Grid*, serta belum tersedia insentif fiskal yang menarik bagi investor teknologi energi terbarukan.

Ringkasan

Integrasi *Smart Grid* dengan sumber energi terbarukan merupakan transformasi strategis multi dimensi yang mencakup elemen teknis, ekonomi, lingkungan, serta kelembagaan. Perbedaan dengan sistem listrik tradisional menimbulkan tantangan dalam koordinasi antar institusi, standarisasi teknologi, serta pendanaan infrastruktur digital. Regulasi yang lemah mengakibatkan pelaksanaan menjadi setengah hati, tidak efisien, dan berisiko terhadap pencapaian sasaran proporsi energi terbarukan 23% pada tahun 2025. Implementasi *Smart Grid* diharapkan dapat menjadi alat kebijakan yang komprehensif untuk meningkatkan efisiensi energi, menurunkan emisi karbon, serta memperkuat ketahanan energi nasional dengan cara mengoptimalkan distribusi, mengurangi kerugian, dan meningkatkan partisipasi prosumer. Akan tetapi, pelaksanaannya masih terhambat karena belum adanya peraturan yang mengatur, tidak adanya standar protokol komunikasi perangkat, serta terbatasnya skema pendanaan yang mengintegrasikan sumber publik dan swasta. Oleh karena itu, dibutuhkan revisi peraturan ketenagalistrikan, penetapan standar teknis nasional, pemberian insentif fiskal, pembentukan tim tugas koordinasi lintas sektor, serta pengembangan peta jalan investasi infrastruktur digital minimal Rp 50 triliun hingga tahun 2030 untuk mencapai transisi energi yang berkelanjutan.

Kata kunci: koordinasi antar sektor, *Smart Grid*, energi terbarukan, ekonomi hijau

Pendahuluan

Perkembangan teknologi energi global menunjukkan percepatan transisi menuju energi terbarukan seperti surya, angin, dan biomassa, sehingga mendorong kebutuhan sistem kelistrikan yang lebih modern dan responsif terhadap perubahan pasokan (Bisri *et al.* 2024). Dalam konteks ini, *smart grid* menjadi teknologi kunci karena mampu meningkatkan efisiensi dan keandalan jaringan melalui sensor digital, komunikasi dua arah, dan analisis data *real time* (Lubis 2021). Kehadiran teknologi ini juga memungkinkan pengelolaan energi yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap karakter energi terbarukan yang bersifat intermiten.

Integrasi energi terbarukan dengan *smart grid* tidak hanya dilihat sebagai inovasi teknis, tetapi juga sebagai strategi pembentukan ekonomi energi hijau. Perpaduan ini membuka peluang bisnis baru, meningkatkan daya saing sektor energi, dan menciptakan lapangan kerja, meskipun implementasinya tetap menuntut kesiapan infrastruktur, regulasi, dan pendanaan yang kuat (Wibowo 2024). Berbagai studi menunjukkan bahwa *smart grid* dapat menurunkan biaya operasional, memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan, serta mendorong tumbuhnya industri seperti perangkat pintar dan penyimpanan energi (Sinaga *et al.* 2021). Hal ini menjadikan integrasi keduanya semakin relevan untuk mendorong transformasi energi yang berkelanjutan.

Tantangan seperti kebutuhan investasi besar, penyesuaian pasar listrik, dan ketimpangan kesiapan teknologi masih menjadi hambatan di banyak negara. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi apakah integrasi ini menjadi peluang ekonomi hijau atau justru menambah beban kebijakan dalam pembangunan energi tahun 2025 (Bandaharo dan Yudisthira 2024).

Analisis Biaya Implementasi *Smart Grid* dan Potensi Penghematan Nasional

Penerapan *Smart Grid* merupakan langkah penting untuk meningkatkan ketahanan dan efisiensi energi nasional. Namun, implementasinya memerlukan biaya awal yang cukup besar serta proses integrasi yang tidak sederhana dengan infrastruktur kelistrikan yang masih dominan menggunakan teknologi konvensional. Selain itu, pembangunan pembangkit berbasis teknologi lama juga tetap membutuhkan anggaran besar dan waktu yang panjang. Tantangan investasi semakin meningkat karena belum adanya standar komunikasi

perangkat yang seragam, yang membuat perusahaan dan vendor cenderung berhati-hati dalam menanamkan modal pada teknologi baru (Susanto dan Louhenapessy 2014).

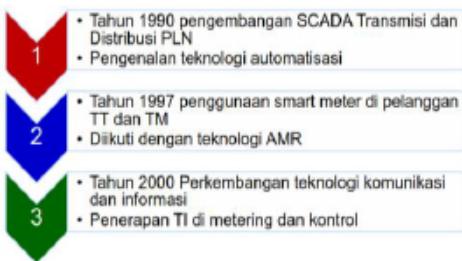
Meskipun demikian, berbagai studi menunjukkan bahwa biaya tersebut dapat terkompensasi oleh potensi penghematan ekonomi jangka panjang. Implementasi *Smart Grid* terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi sebesar 15–25% dalam lima tahun pertama (Akbardin dan Alki 2025), dan bahkan dapat mencapai 20–30% (Sitha *et al.* 2025). Pada tingkat sistem yang lebih terbatas, *Smart Micro-Grid* juga menunjukkan efisiensi hingga 81,92% (Novianto *et al.* 2020). Dari sisi pengelolaan permintaan, penerapan *Demand Side Management* (DSM) dapat menurunkan kebutuhan pembangunan pembangkit dan jaringan baru, sekaligus berpotensi mengurangi biaya listrik bagi konsumen (Lubis 2021).

Smart Grid juga memberikan manfaat pada aspek *system reliability*. Kerugian ekonomi akibat pemadaman listrik di Jakarta diperkirakan mencapai Rp 100 miliar per hari (Pramudhita dan Mawangi 2021), sehingga peningkatan *reliability* menjadi krusial. Teknologi ini berpotensi menurunkan frekuensi gangguan hingga 50–57% (Akbardin dan Alki 2025) serta mengurangi risiko *blackout* (Sitha *et al.* 2025). Selain manfaat operasional, *smart grid* juga mendukung transisi energi melalui potensi reduksi emisi karbon hingga 20% (Akbardin dan Alki 2025), sehingga memperkuat arah pembangunan ekonomi hijau di Indonesia.

Dampak *Smart Grid* terhadap Konsumen

Implementasi *smart grid* menunjukkan potensi signifikan dalam menurunkan tagihan listrik konsumen melalui peningkatan efisiensi energi dan manajemen permintaan yang lebih baik. Dalam konteks Indonesia, pengembangan *smart grid* dan *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) oleh PLN secara eksplisit ditujukan untuk meningkatkan efisiensi energi sekaligus keandalan layanan, antara lain melalui pengurangan rugi-rugi teknis dan non-teknis, otomatisasi jaringan distribusi, serta pemantauan beban secara *real-time* (Sinaga 2021). Dari sisi potensi penghematan tagihan, simulasi pola konsumsi rumah tangga Indonesia berbasis data yang mereplikasi keluaran *smart meter* menunjukkan bahwa rekomendasi pengelolaan beban dan penggantian peralatan yang tidak efisien dapat menghasilkan penghematan energi hingga sekitar 40%, yang secara

langsung dapat menurunkan tagihan listrik bila konsumen mengubah perilaku pakai listrik (Impron 2025).



Inisiasi pengembangan *smart grid* PLN (Sinaga 2021)

Namun, bukti lapangan awal menunjukkan bahwa implementasi *smart meter* tidak otomatis langsung menurunkan tagihan seluruh konsumen. Studi tugas akhir pada 20 pelanggan rumah tangga di ULP Mengwi, Bali, mengenai pergantian kWh meter konvensional ke *smart meter* berbasis AMI menemukan adanya kenaikan pembayaran tagihan listrik pada sebagian pelanggan setelah tiga bulan, yang dikaitkan dengan pengukuran yang lebih akurat, hilangnya praktik pembacaan taksiran, serta pola konsumsi yang belum disesuaikan (Shadana 2024). Temuan ini menegaskan bahwa penurunan tagihan hanya tercapai jika konsumen aktif memanfaatkan informasi dari *smart meter* untuk menggeser beban ke luar jam puncak dan mengurangi penggunaan peralatan boros energi. Di sisi lain, dari perspektif keandalan, pilot project *smart grid* PLN di sejumlah lokasi (misalnya Cawang, Gandul, dan Bali) dirancang untuk memperbaiki indikator keandalan seperti SAIDI/SAIFI melalui distribution *grid management*, sistem otomatisasi, dan kemampuan *self-healing*, sehingga gangguan dapat dideteksi dan dipulihkan lebih cepat, mengurangi frekuensi dan durasi pemadaman bagi pelanggan (Sinaga 2021). Dengan demikian, pada kondisi desain tarif dan edukasi yang tepat, *smart grid* di Indonesia berpotensi memberikan kombinasi manfaat berupa efisiensi energi lebih tinggi, tagihan yang dapat ditekan bagi konsumen yang responsif, serta keandalan layanan yang lebih baik.

Komparasi Penerapan sebagai Strategi Pengembangan *Smart Grid* di Indonesia

Pengembangan *smart grid* di Indonesia memerlukan referensi empiris dari negara yang lebih maju teknologinya. Sementara itu, Belanda mampu menyediakan model implementasi yang dapat dijadikan analisis komparatif relevan bagi penyusunan strategi nasional.

Pemerintah Belanda mendorong penerapan *smart grid* untuk mengakomodasi energi terbarukan dalam mengatasi tekanan pada jaringan distribusi yang diwujudkan melalui proyek percontohan dengan dukungan pendanaan publik, seperti *Experimentation Decree*. Selain itu, *smart grid* akan berhasil apabila memperhatikan dimensi *distributive justice*, *recognition justice*, dan *procedural justice*. Implementasi *smart grid* pertama di Belanda terlihat pada proyek *Virtual Power Plant* (VPP) yang menggabungkan kapasitas baterai rumah tangga untuk diperdagangkan pasar listrik *day-ahead* dengan tujuan membuka akses prosumer (Milchram *et al.* 2020).

Berbeda dengan Belanda yang pelaksanaannya berupa *pilot project* di tingkat komunitas, Indonesia berfokus pada penerapan *smart grid* di wilayah 3T (terpencil, tertinggal, dan terluar). Meski begitu, Indonesia dapat mempelajari bagaimana Belanda melakukan *pilot project* berbasis komunitas melalui penyimpanan baterai komunitas, memperhatikan aspek keadilan dan inklusivitas dengan tidak adanya pembatasan kawasan penerapan, serta menggabungkan modernisasi infrastruktur seperti *substation* digital dan *control center* dengan partisipasi berbagai pihak yang didukung dengan regulasi yang relevan. (Milchram *et al.* 2020).

Perbedaan dalam konteks sosial, kesiapan infrastruktur, dan pengalaman proyek menjadikan Belanda relevan sebagai bahan percontohan penerapan *smart grid*, mulai dari memahami strategi integrasi energi terbarukan hingga mekanisme penerapan yang lebih inklusif. Dengan begitu, Indonesia mampu mempercepat transformasi sistem kelistrikan yang berkelanjutan melalui adaptasi model yang disesuaikan dengan kondisi Indonesia.

Rekomendasi

Integrasi *Smart Grid* bersama energi terbarukan dapat meningkatkan efisiensi energi nasional sebesar 15-25% dan menurunkan emisi karbon sebanyak 20% dalam waktu lima tahun. Untuk menjadikan potensi ini nyata, dibutuhkan langkah-langkah strategis berikut:

1. Penguatan Regulasi (2026) Kementerian ESDM dan DPR RI harus merevisi UU No. 30/2009 tentang Ketenagalistrikan dengan memasukkan mandat penerapan Smart Grid bagi operator jaringan distribusi, lengkap dengan sanksi administratif. Target penyelesaian amandemen

- pada 2026 untuk memberikan kepastian hukum bagi investor teknologi energi terbarukan.
2. Standardisasi dan Insentif Fiskal (2027) PT PLN dan Kementerian ESDM perlu menerbitkan Peraturan Menteri tentang Standar Teknis *Smart Grid* serta mekanisme insentif berupa tax holiday 5-10 tahun untuk industri manufaktur perangkat *Smart Grid* dan sistem penyimpanan energi. Implementasi dimulai 2027 di 10 kota percontohan sebelum adopsi nasional.
 3. Koordinasi dan Pembiayaan (2025-2030) Membentuk Satuan Tugas Koordinasi *Smart Grid* di bawah Kemenko Maritim dan Investasi yang melibatkan BAPPENAS, Kemenkeu, PLN, akademisi, dan swasta. Satgas merancang *roadmap* investasi minimal Rp 50 triliun hingga 2030, mengembangkan skema *blended finance* publik-swasta, serta menyelaraskan regulasi lintas sektor dalam 12 bulan pertama untuk mencegah tumpang tindih kebijakan dan mempercepat pencapaian target bauran EBT.

Kesimpulan

Pendekatan saat ini dalam pengembangan sistem kelistrikan Indonesia masih sangat bergantung pada infrastruktur konvensional dengan integrasi energi terbarukan yang terbatas dan belum terkoordinasi secara optimal. Ketiadaan regulasi khusus yang mewajibkan penerapan *Smart Grid*, standar teknis yang belum seragam, serta keterbatasan skema pembiayaan yang komprehensif menyebabkan implementasi berjalan lambat dan sporadis.

Tanpa perubahan mendasar dalam kerangka kebijakan, Indonesia berisiko kehilangan momentum transisi energi dan tertinggal dari negara-negara tetangga yang lebih progresif. Potensi penghematan ekonomi sebesar 15-25%, pengurangan emisi karbon 20%, dan peningkatan reliability hingga 50-57% tidak akan terealisasi secara optimal. Yang dibutuhkan adalah transformasi sistemik yang mencakup revisi regulasi ketenagalistrikan, penetapan standar teknis nasional, penyediaan insentif fiskal yang menarik investor, serta pembentukan mekanisme koordinasi antar-lembaga yang kuat untuk mengakselerasi implementasi *Smart Grid* selaras dengan target bauran energi terbarukan 23% pada 2025 dan komitmen *net-zero emission* jangka panjang.

Daftar Pustaka

- Akbardin., & Alki, H. 2025. Dampak implementasi smart grid terhadap efisiensi konsumsi energi dan reduksi emisi karbon. *Jurnal Pengembangan Sains dan Teknologi*. 1(1): 1–8. doi:10.63866/jpst.v1i1.40.
- Bandaharo, B., & Yudisthira, T.R. 2024. Analisis dan implementasi algoritma pemantauan kualitas energi listrik pada sistem smart grid. *Cosmic Jurnal Teknik*. 1(4): 165–174.
- Bisri, M.M., Maharani, S.I., & Billa, A.S.F.S. 2024. Evaluasi kebijakan pensiun dini PLTU batubara dalam konteks transisi energi: implikasi terhadap ketahanan energi dan pembangunan sosial-ekonomi Indonesia. *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*. 16(02): 1–13.
- Lubis, B.H. 2021. Teknologi smart grid untuk penerapan demand side management: prospek masa depan di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Tambusai*. 5(3): 8092–8100.
- Milchram, C., Künneke, R., Doorn, N., Kaa, G. & Hillerbrand, R. 2020. Designing for justice in electricity systems: a comparison of smart grid experiments in the Netherlands. *Energy Policy*. 147: 1–13. doi:10.1016/j.enpol.2020.111720.
- Novianto, B., Abdullah, K., Uyun, A.S., Yandri, E., Nur, S.M., Susanto, H., Vincēviča-Gaile, Z., Setyobudi, R.H. & Nurdiansyah, Y. 2020. Smart micro-grid performance using renewable energy. *E3S Web of Conferences*. 188: 00005. doi:10.1051/e3sconf/202018800005.
- Pramudhita, A.N. & Mawangi, P.A.N. 2021. Smart grid untuk efisiensi konsumsi listrik pada proses produksi di industri manufaktur. *MATICS: Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*. 13(1): 7–12. doi:10.18860/mat.v13i1.11566.
- Sinaga, D.H., Sasue, R.R.O. & Hutahaean, H.D. 2021. Pemanfaatan energi terbarukan dengan menerapkan smart grid sebagai jaringan listrik masa depan. *Jurnal Zetroem*. 3(1): 11–17.
- Sitha, N.S., Supiyandi., Rizal, C. 2025. Penerapan smart grid berbasis IoT dalam manajemen distribusi energi di lingkungan perkotaan. *JOEER: Journal of Electrical Engineering Research*. 1(1): 25–32.
- Susanto, D.A., & Louhenapessy, B.B. 2014. Ketersediaan standar dalam mendukung penerapan sistem smart grid di Indonesia. *Jurnal Standardisasi*. 16(2): 147–158.

- Wibowo, K. 2024. Kontribusi pembangkit listrik energi terbarukan dalam mengurangi emisi karbon. *Innovative: Journal of Social Science Research*. 4(6): 5140–5153.
- Impron, A. 2025. Analisis pola konsumsi energi listrik rumah tangga berbasis simulasi IoT menggunakan model hybrid LSTM-Attention. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*. 9(1): 361–369. doi:10.26798/jiko.v9i1.1922.
- Shadana, D.M. 2024. Analisis penyebab kenaikan energi listrik smart metering berbasis advanced metering infrastructure (AMI) pada skala rumah tangga ULP Mengwi. *Laporan Tugas Akhir*. Politeknik Negeri Bali.

Policy Brief Energi dan Infrastruktur Hijau ini disusun sebagai upaya menjembatani pengetahuan ilmiah dan proses perumusan kebijakan (*science-policy interface*) dalam mendukung percepatan transisi energi berkelanjutan. Dokumen ini dikelola dalam lingkup kajian ketenagalistrikan dan pembangunan rendah karbon untuk memberikan wawasan yang inklusif dan berbasis bukti mengenai integrasi *smart grid* dan energi terbarukan. Seluruh analisis, argumen, dan rekomendasi kebijakan yang tercantum merupakan tanggung jawab penulis sepenuhnya dan tidak mewakili pandangan resmi institusi mana pun.

Biografi Penulis

Dr. Kastana Sapanli, S.Pi., M.Si. adalah dosen pada Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan IPB University. Saat ini beliau aktif dalam kegiatan pendidikan dan penelitian di bidang ekonomi sumberdaya khususnya bidang ekonomi sumberdaya kelautan tropika. (*Corresponding Author*)
Email: kastana@apps.ipb.ac.id

Siti Tsabita Balqis adalah mahasiswa Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan IPB University. **Email:** balqissiti@apps.ipb.ac.id

Dinda Bidadari merupakan mahasiswa Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan IPB University. **Email:** eslipbidadari@apps.ipb.ac.id

Muhamad Fauzan Akbar Maryadi adalah mahasiswa Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan IPB University. **Email:** fznmmaryadi@apps.ipb.ac.id

Najwa Azalia Mumtazah adalah mahasiswa Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan IPB University. **Email:** najwaazmumtazah@apps.ipb.ac.id

Muhammad Auzan Hawali merupakan mahasiswa Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan IPB University. **Email:** auzandanhawali@apps.ipb.ac.id

Siska Aulia adalah mahasiswa Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan IPB University. **Email:** sskaulia@apps.ipb.ac.id