



Strategi Integrasi Energi Terbarukan Berbasis *Smart Grid* untuk Mewujudkan Sistem Energi Listrik yang Berkelanjutan di Indonesia

Muhammad Dicky Saputra¹, Apipah², Muhammad Aldi Firdaus³, Muhammad Rizki⁴,
Didik Aribowo⁵

¹⁻⁵ Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Email : 2283230004@untirta.ac.id

Alamat: Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang Kota Serang, Banten 42117

Korespondensi penulis: 2283230004@untirta.ac.id

Abstract. *Indonesia has abundant renewable energy potential, but its utilization still faces various technical, economic, social, and policy barriers. This article examines renewable energy integration strategies through a smart grid approach as a systemic solution to build a reliable, efficient and sustainable electricity system. Using a literature review method, it highlights key challenges such as intermittency of energy sources, limited storage infrastructure, high initial investment costs, and regulatory and social resistance. The integration strategies discussed include the development of energy storage technologies, increased flexibility of the electricity system, optimization of plant planning and operations, energy policy reform, and investment in infrastructure and digitalization. The vital role of smart grids is made clear through case studies of implementations in remote areas that have successfully improved distribution efficiency and community participation. The results confirm that successful integration of renewable energy requires synergy between technology, policy, and active community involvement. In conclusion, smart grid is not just a technological infrastructure, but the foundation of transformation towards a national energy system that is low-emission, inclusive, and long-term resilient.*

Keywords: *Smart Grid, Renewable Energy, Energy Integration, Energy Transition.*

Abstrak. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang melimpah, namun pemanfaatannya masih menghadapi berbagai hambatan teknis, ekonomi, sosial, dan kebijakan. Artikel ini mengkaji strategi integrasi energi terbarukan melalui pendekatan smart grid sebagai solusi sistemik untuk membangun sistem kelistrikan yang andal, efisien, dan berkelanjutan. Dengan menggunakan metode studi literatur, kajian ini menyoroti tantangan utama seperti intermitensi sumber energi, keterbatasan infrastruktur penyimpanan, tingginya biaya investasi awal, serta resistensi regulasi dan sosial. Strategi integrasi yang dibahas mencakup pengembangan teknologi penyimpanan energi, peningkatan fleksibilitas sistem ketenagalistrikan, optimalisasi perencanaan dan operasional pembangkit, reformasi kebijakan energi, serta investasi dalam infrastruktur dan digitalisasi. Peran vital smart grid diperjelas melalui studi kasus implementasi di daerah terpencil yang berhasil meningkatkan efisiensi distribusi dan partisipasi masyarakat. Hasil kajian menegaskan bahwa keberhasilan integrasi energi terbarukan memerlukan sinergi antara teknologi, kebijakan, dan keterlibatan aktif masyarakat. Kesimpulannya, smart grid bukan hanya sekadar infrastruktur teknologi, melainkan fondasi transformasi menuju sistem energi nasional yang rendah emisi, inklusif, dan berdaya tahan jangka panjang.

Kata kunci: Smart Grid, Energi Terbarukan, Integrasi Energi, Transisi Energi.

1. LATAR BELAKANG

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan, terutama dari sumber-sumber seperti tenaga matahari, angin, air, dan biomassa. Namun, meskipun potensinya sangat menjanjikan, pemanfaatannya hingga kini masih belum maksimal. Beberapa tantangan yang dihadapi antara lain adalah sifat energi terbarukan yang tidak stabil seperti pada tenaga surya dan anginserta keterbatasan infrastruktur penyimpanan dan distribusi energi.

Selain itu, integrasi teknologi yang dapat merespons perubahan daya secara dinamis juga masih kurang memadai.

Untuk mengatasi berbagai kendala tersebut, penerapan sistem Smart Grid menjadi salah satu pendekatan strategis. Smart Grid merupakan jaringan listrik modern yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi guna mengelola, memantau, dan mengoptimalkan distribusi listrik secara langsung dan efisien. Dengan kemampuan komunikasi dua arah, sistem ini dapat secara cepat menyesuaikan diri terhadap perubahan permintaan dan ketersediaan energi, sekaligus mendukung integrasi sumber energi terbarukan ke dalam jaringan listrik secara lebih efektif.

Penelitian yang dilakukan oleh Judijanto dkk. (2024) menyatakan bahwa penerapan Smart Grid secara strategis memiliki potensi besar untuk mempercepat integrasi pembangkit energi baru terbarukan ke dalam sistem kelistrikan Indonesia, dengan fleksibilitas dalam pengelolaan beban, penyesuaian produksi energi, serta respon terhadap gangguan sistem. Hal ini sangat relevan dengan kondisi geografis dan pola konsumsi yang heterogen di Indonesia. Sejalan dengan pandangan tersebut, Zainal Arifin (2020) dari PLN merinci bahwa roadmap pengembangan Smart Grid nasional mencakup digitalisasi pembangkit, otomasi gardu induk, serta pengembangan Advanced Metering Infrastructure. Langkah-langkah ini kongruen dengan agenda jangka panjang PLN dalam mendorong elektrifikasi kendaraan dan sistem energi berbasis konsumen. Walaupun demikian, pengembangan Smart Grid masih terbatas pada daerah perkotaan, membutuhkan dukungan kebijakan dan investasi jangka panjang untuk merambah secara luas juga ke daerah-daerah nasional. Dari uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa transformasi sistem kelistrikan di Indonesia memerlukan penanganan secara menyeluruh. Penting bukan hanya mengampanyekan pengembangan pembangkit EBT, melainkan juga membangun jaringan listrik yang cerdas dan resilient untuk menyikapi tantangan terkait andalitas, efisiensi, serta keberlanjutan energi di masa depan.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1. Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari bumi dan dapat dilepaskan dengan cara yang bersih, seperti udara, air, biomassa, dan angin. Energi ini merupakan solusi utama untuk mengurangi jumlah bahan bakar fosil yang tersedia dan tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan. Penggunaan energi terbarukan memiliki peran

penting dalam mengurangi emisi gas dari rumah kaca dan mencegah pembangunan lebih lanjut melalui pasokan energi yang lebih ramah lingkungan dan aman.

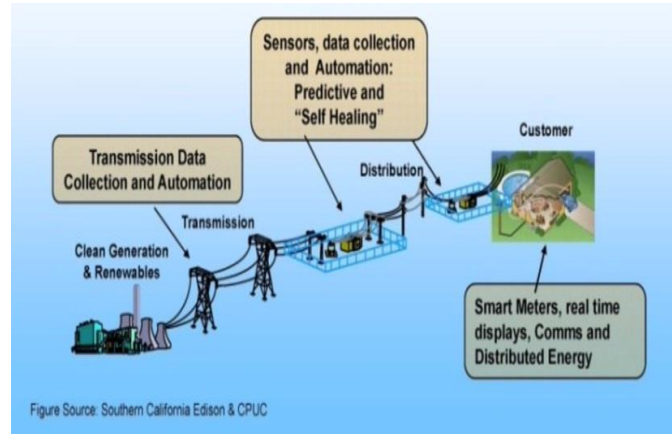
Menurut Koohi-Fayegh dan Rosen (2020), berbagai bentuk energi, seperti energi matahari, angin, bioenergi, dan panas bumi, memiliki potensi untuk mengurangi kebutuhan energi dunia secara signifikan. Mereka menekankan pentingnya mengintegrasikan teknologi pendukung untuk memaksimalkan penggunaan sumber energi ini dalam sistem energi yang terdiversifikasi.

Namun, transisi menuju energi terbarukan juga menghadapi tantangan, seperti variabilitas pasokan energi yang bergantung pada kondisi alam dan kebutuhan akan infrastruktur yang memadai. Mohammed (2021) menyoroti perlunya integrasi teknologi informasi dan komunikasi dalam sistem energi untuk mengatasi tantangan ini dan meningkatkan efisiensi serta keandalan pasokan energi.

Di Indonesia, potensi energi terbarukan sangat besar, namun pemanfaatannya masih terbatas karena infrastruktur yang perlu diperbarui, kebutuhan akan investasi yang signifikan, serta perlunya reformasi kebijakan yang lebih progresif. Maka dari itu, kerjasama yang sinergis antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat menjadi krusial dalam menggalakkan proses pengembangan serta optimalisasi penggunaan energi terbarukan di negara ini.

2.2. Smart Grid

Smart Grid, atau jaringan listrik pintar, merupakan bentuk inovasi dan pembaruan teknologi dalam sektor ketenagalistrikan. Sistem ini merupakan jaringan listrik modern yang mampu secara cerdas menggabungkan sistem kelistrikan dengan teknologi komunikasi, sehingga mendukung integrasi antara pembangkit, transmisi, dan distribusi listrik agar lebih efisien, interaktif, dan berkualitas. Selain itu, Smart Grid memiliki kemampuan untuk mendeteksi, mengisolasi, dan merespons gangguan dengan cepat, serta menyediakan informasi kelistrikan secara *real-time* (Nur Asyik, 2017).



Gambar 1. Konsep Smart Grid

Sumber: Southern California Edison & CPUC

Salah satu bentuk penerapan Smart Grid di Indonesia dapat dilihat dari rencana pembangunan 25 sistem Smart Grid di kawasan Jawa-Bali yang dijadwalkan selesai hingga tahun 2024. Inisiatif ini merupakan bagian dari program Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) dan bertujuan untuk meningkatkan keandalan serta efisiensi dalam distribusi listrik di wilayah tersebut. Setiap tahunnya, mulai tahun 2020 hingga 2024, direncanakan pemasangan lima sistem Smart Grid baru di wilayah Jawa-Bali.

Selain itu, PT PLN (Persero) juga telah mengembangkan berbagai inisiatif dalam pengembangan Smart Grid, termasuk digitalisasi pembangkit, e-mobility, digitalisasi transmisi dan distribusi, serta pengembangan microgrid di daerah terpencil. Implementasi ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, pengalaman pelanggan, dan produktivitas jaringan listrik. Contoh lain dari implementasi Smart Grid di Indonesia adalah proyek Smart Micro Grid di Pulau Sumba, Nusa Tenggara Timur (NTT), yang mengintegrasikan pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem distribusi cerdas untuk menyediakan listrik yang andal di daerah terpencil. Dengan berbagai inisiatif ini, Indonesia menunjukkan komitmennya dalam mengadopsi teknologi Smart Grid untuk mendukung transisi energi menuju sistem yang lebih berkelanjutan dan efisien.

2.3. Integrasi Energi Terbarukan dan Smart Grid

Integrasi energi terbarukan ke dalam sistem kelistrikan modern sangat mengharuskan keberadaan sistem yang flexibel, adaptif, dan responsif terhadap fluktuasi pasokan dan permintaan energi yang dapat berubah-ubah. Karena karakteristik energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin yang cenderung

intermiten dan dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan waktu, keberadaan sistem konvensional yang beroperasi satu arah saja sudah tidak cukup. Inilah sebabnya, teknologi Smart Grid menjadi pilihan utama yang vital dalam mendukung penetrasi energi terbarukan secara besar-besaran dan dapat diandalkan.

Smart Grid merupakan jaringan listrik yang terintegrasi dengan teknologi informasi dan komunikasi (TIK), yang memungkinkan pemantauan, pengendalian, dan optimalisasi distribusi energi secara real-time. Salah satu fitur kunci dari Smart Grid adalah kemampuannya dalam mengatur pengelolaan beban dinamis, penyimpanan energi, dan demand response, yaitu kemampuan sistem untuk menyesuaikan konsumsi energi berdasarkan ketersediaan dan harga energi (Mohammed, 2021).

Menurut Koohi-Fayegh dan Rosen (2020), Smart Grid mendukung integrasi energi terbarukan melalui empat komponen utama: 1) pengumpulan data cerdas melalui sensor dan meter pintar, 2) kontrol otomatis jaringan, 3) sistem penyimpanan energi (ESS), dan 4) pelibatan aktif konsumen sebagai prosumer dalam jaringan energi. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem distribusi energi, tetapi juga memperkuat keandalan dan keamanan pasokan listrik dalam menghadapi fluktuasi dari pembangkit energi terbarukan. Studi oleh Judijanto et al. (2024) dalam konteks Indonesia juga menunjukkan bahwa penerapan Smart Grid dapat mempercepat transisi energi nasional. Melalui pengembangan infrastruktur digital dan sistem pengukuran yang terintegrasi, sistem kelistrikan Indonesia akan lebih siap mengelola integrasi dari berbagai sumber energi terbarukan, terutama di wilayah dengan permintaan energi yang terus meningkat. Namun, mereka juga menekankan pentingnya sinergi antara kebijakan pemerintah, regulasi teknis, serta penguatan kapasitas sumber daya manusia dalam mendukung keberhasilan implementasi Smart Grid.

Dengan demikian, melalui sistem Smart Grid, integrasi energi terbarukan tidak hanya menjadi tonggak inovasi teknologi yang menonjol, tetapi juga menjadi pilar utama dalam merancang strategi sistemik untuk mencapai tujuan ekonomi yang berkelanjutan, meningkatkan efisiensi energi, serta membangun ketahanan sistem energi nasional agar dapat melestarikan lingkungan dan memperkuat perekonomian di masa depan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur sebagai teknik pengumpulan datanya. Proses ini dilakukan dengan menelusuri berbagai referensi, seperti jurnal ilmiah dan sumber bacaan lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Literatur yang dikaji merupakan publikasi yang memiliki keterkaitan dengan permasalahan yang diangkat. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisis, menelaah, serta membandingkan informasi dari beragam sumber literatur, yang hasil akhirnya disusun dalam bentuk artikel ilmiah. Adapun langkah-langkah dalam studi literatur dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Artikel

Pada tahap ini, artikel dikumpulkan dengan cara menelusuri dan mengunduh berbagai publikasi ilmiah melalui platform *Google Scholar*. Proses pencarian dilakukan dengan menggunakan kata kunci yang sesuai dan relevan dengan topik atau judul penelitian. Dalam konteks ini, kata kunci yang digunakan adalah *Peran Smart Grid dalam Integrasi Energi Terbarukan untuk Mendukung Keberlanjutan Sistem Listrik di Indonesia*.

2. Reduksi Artikel

Setelah mengumpulkan sejumlah artikel, langkah berikutnya adalah melakukan reduksi atau penyaringan. Pada tahap ini, artikel yang kurang relevan atau tidak sesuai dengan variabel dan fokus penelitian akan dikurangi sehingga hanya artikel yang relevan yang akan diproses lebih lanjut.

3. Penyajian Artikel (Display Artikel)

Artikel-artikel yang telah terpilih kemudian disajikan dalam bentuk yang terstruktur agar memudahkan pemahaman. Penyajian ini dapat dilakukan melalui tabel ringkasan, uraian singkat, dan pemetaan hubungan antar variabel yang dikaji dalam artikel tersebut.

4. Pengorganisasian dan pembahasan

Tahapan ini mencakup proses klasifikasi dan analisis artikel berdasarkan tipe kajian literatur yang digunakan. Dalam penelitian ini, pendekatan yang digunakan adalah kajian teoritis, yaitu kajian yang secara khusus menyoroti pemaparan berbagai teori atau konsep yang berkaitan dengan suatu topik tertentu. Pada bagian ini, penulis mengatur dan menyusun teori-teori yang relevan guna memberikan pemahaman yang menyeluruh mengenai peran *smart grid* dalam mendukung integrasi energi terbarukan.

5. Penarik Kesimpulan

Setelah tahap pengorganisasian dan analisis selesai dilakukan, langkah akhir dalam proses ini adalah merumuskan kesimpulan berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dikaji. Kesimpulan tersebut berperan sebagai landasan pemahaman serta menjadi referensi untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan energi terbarukan karena kekayaan sumber daya alam dan letak geografis yang mendukung. Empat sumber energi terbarukan utama di Indonesia adalah energi surya, angin, hidro, dan biomassa. Letak geografis Indonesia di khatulistiwa memberikan keuntungan untuk pemanfaatan energi surya sepanjang tahun, dengan intensitas sinar matahari yang konsisten. Selain itu, dengan tepi laut yang luas dan wilayah pegunungan, tenaga angin juga memiliki prospek yang menjanjikan. Potensi hidro di Indonesia didukung oleh banyaknya sungai dan aliran air yang melintasi nusantara, menyediakan sumber daya air yang melimpah untuk pembangkit listrik tenaga air. Biomassa, yang dapat dimanfaatkan dari limbah pertanian dan kehutanan, menambah sumber daya energi terbarukan yang melimpah di Indonesia.

Meskipun potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar, implementasi pemanfaatannya masih menghadapi berbagai hambatan. Pemerintah telah menetapkan sejumlah kebijakan untuk mendukung pemanfaatan energi ramah lingkungan, seperti pemberian subsidi dan insentif fiskal. Namun demikian, pelaksanaan di lapangan masih menemui kendala yang cukup serius. Tingginya biaya awal dalam pembangunan infrastruktur energi terbarukan juga menjadi tantangan besar bagi para investor. Hal ini membuat pengembangan proyek energi bersih membutuhkan dukungan finansial yang lebih kuat. Selain itu, tingkat kesadaran masyarakat terhadap pentingnya transisi energi ke sumber yang berkelanjutan masih rendah, dan keterlibatan sektor swasta pun belum optimal dalam mendukung pengembangan energi terbarukan secara luas. Kendati demikian, apabila terdapat komitmen yang serius dari pemerintah serta kerja sama yang sinergis dengan berbagai pihak termasuk sektor swasta, lembaga riset, dan masyarakat potensi energi terbarukan di Indonesia dapat dimanfaatkan secara maksimal. Pengembangan sektor ini sangat penting dalam mendukung tercapainya pembangunan nasional yang berkelanjutan dan ramah lingkungan di masa mendatang.

Adapun dibawah ini merupakan tabel yang menunjukkan potensi energi terbarukan di Indonesia berdasarkan data kementrian energi dan sumber daya mineral tahun 2023, yang mencakup sumber energi, daerah potensial, kapasitas produksi, dan kendala utama yang ada di beberapa daerah indonesia.

Tabel 1. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

No	Sumber Energi	Daerah Potensial	Kapasitas Produksi (MW)	Kendala Utama
1.	Energi Surya	Jawa, Bali, Nusa Tenggara Timur (NTT), wilayah dengan paparan sinar matahari tinggi	1.000	Biaya investasi awal yang tinggi,
2.	Energi Angin	Pulau Sumba, Sulawesi Selatan, NTT	500	Variasi kecepatan angin, infrastruktur belum memadai
3.	Energi Hidro	Sumatera, Kalimantan, Papua, dan wilayah dengan aliran sungai besar	2.000	Lokasi terpencil, tingginya biaya pembangunan infrastruktur
4.	Biomassa	Sumatera, Kalimantan, Jawa, dan daerah agraris lainnya	800	Distribusi bahan baku tidak merata, teknologi pengolahan terbatas

Sumber: Kementerian ESDM (2008)

Berdasarkan tabel diatas energi surya di daerah seperti jawa. Bali dan NTT memiliki potensi yang tinggi dalam kapasitas produksinya yang mencapai 1000 MW. Namaun, masih ada tantangan utama seperti Biaya investasi awal yang masih tinggi, sehingga diperlukan dukungan yang fokus dari pemerintah untuk mengurangi beban biaya tersebut. Energi angin di Pulau Sumba, Sulawesi Selatan dan NTT memiliki kapasitas produksi sekitar 500 MW, tetapi Variasi kecepatan angin, infrastruktur belum memadai dan menjadi hambatan utamanya. Di sisi lain, potensi energi hidro di Sumatra dan Kalimantan mencapai sekitar 2.000 MW. Namun, keterbatasan Lokasi terpencil dan tingginya biaya pembangunan infrastruktur menjadi hambatan utama dalam

pengembangannya. Oleh karena itu, investasi yang signifikan dalam pembangunan fasilitas seperti bendungan serta jaringan distribusi listrik yang handal sangat diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan potensi energi hidro tersebut. Potensi biomassa di Sumatra dan Kalimantan mencapai 800 MW, namun kesadaran masyarakat terhadap pemanfaatannya masih rendah. Oleh karena itu, edukasi dan sosialisasi perlu ditingkatkan agar pemahaman tentang manfaat energi biomassa lebih meluas. Dengan mengatasi kendala ini, Indonesia dapat memaksimalkan energi terbarukan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. (Nelly, 2024).

4.2 Tantangan Integrasi Energi Terbarukan

Integrasi energi terbarukan di Indonesia menghadapi berbagai tantangan yang menghambat transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Ketergantungan yang masih tinggi pada energi fosil, terutama batu bara, serta subsidi energi fosil yang berkelanjutan, membuat energi terbarukan kurang kompetitif dari sisi harga (Halimatussadiyah, 2024). Selain itu, infrastruktur jaringan listrik yang belum memadai dan keterbatasan sistem penyimpanan tenaga menyulitkan integrasi sumber tenaga terbarukan yang sifatnya intermiten seperti energi surya dan angin (Nurjaman, 2024). Proses perizinan yang rumit dan birokrasi yang panjang, ditambah dengan ketidakpastian kebijakan dan regulasi yang sering berubah, semakin mengurangi minat investasi di sektor ini (Nurahmani, 2024). Tantangan pembiayaan juga menjadi kendala utama karena tingginya biaya awal pembangunan dan keterbatasan akses pembiayaan yang terjangkau, khususnya bagi proyek skala kecil dan menengah (Abdurohman, 2023). Keterbatasan sumber daya manusia yang terampil serta minimnya riset dan pengembangan di bidang energi terbarukan menghambat inovasi dan penerapan teknologi baru, sehingga diperlukan peningkatan pendidikan dan pelatihan yang fokus pada teknologi ini. Terakhir, tantangan sosial dan politik seperti konflik kepentingan antar sektor dan resistensi masyarakat terhadap proyek energi terbarukan harus diatasi melalui keterlibatan aktif masyarakat dalam perencanaan dan pelaksanaan agar proyek dapat berhasil dan berkelanjutan (Ghazali, 2025).

Untuk mengatasi tantangan-tantangan ini memerlukan pendekatan yang holistik dan kolaboratif antara pemerintah, sektor swasta, lembaga keuangan, dan masyarakat. Reformasi kebijakan, peningkatan investasi, pengembangan kapasitas sumber daya

manusia, dan partisipasi aktif masyarakat merupakan kunci untuk mempercepat peralihan ke sistem energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan di Indonesia.

4.3 Strategi Integrasi Energi Terbarukan

1. Pengembangan Teknologi Penyimpanan Energi

Pengembangan teknologi penyimpanan energi merupakan strategi krusial dalam mengatasi tantangan utama dari energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin yang bersifat intermiten atau tidak stabil. Ketergantungan pada kondisi cuaca membuat produksi energi dari sumber tersebut tidak selalu sejalan dengan kebutuhan konsumsi listrik masyarakat. Oleh karena itu, sistem penyimpanan energi diperlukan untuk menjaga kestabilan pasokan energi, khususnya pada saat produksi tinggi dan permintaan rendah, maupun sebaliknya. Teknologi penyimpanan seperti baterai lithium-ion telah banyak digunakan karena efisiensinya yang tinggi, daya tahan lama, dan fleksibilitas penerapannya, baik di skala rumah tangga maupun industri. Selain itu, sistem penyimpanan berbasis udara terkompresi (Compressed Air Energy Storage/CAES) menawarkan kapasitas besar dengan biaya yang relatif lebih rendah, cocok untuk kebutuhan skala luas. Teknologi lain yang menjanjikan adalah penyimpanan energi berbasis hidrogen, di mana energi listrik digunakan untuk elektrolisis air dan menghasilkan hidrogen yang dapat disimpan dan dikonversi kembali menjadi listrik saat diperlukan melalui sel bahan bakar (fuel cell). Flow battery juga menjadi alternatif untuk penyimpanan jangka panjang, meskipun memiliki efisiensi yang lebih rendah. Strategi pengembangan penyimpanan ini bukan hanya untuk menjaga kontinuitas pasokan energi, tetapi juga sebagai elemen pendukung sistem smart grid yang memungkinkan pengelolaan energi secara cerdas dan efisien.

2. Fleksibilitas Sistem Ketenagalistrikan

Fleksibilitas sistem ketenagalistrikan merupakan aspek krusial dalam integrasi energi terbarukan, terutama mengingat sifat intermiten dari sumber energi seperti tenaga surya dan angin. Untuk memastikan kestabilan dan keandalan pasokan listrik, sistem kelistrikan harus mampu menyesuaikan diri dengan fluktuasi produksi energi. Langkah-langkah strategis yang dapat diterapkan meliputi peningkatan kapasitas prediksi (forecasting), pengembangan jaringan pintar (smart grid), dan penggunaan sistem penyimpanan energi.

Peningkatan kapasitas prediksi memungkinkan operator sistem untuk meramalkan produksi dan permintaan energi dengan lebih akurat, sehingga dapat mengoptimalkan pengelolaan sumber daya energi terbarukan. Pengembangan jaringan pintar (smart grid) memungkinkan integrasi yang lebih efisien antara berbagai sumber energi dan konsumen, serta memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi jaringan. Sistem penyimpanan tenaga, seperti akumulator dan teknologi penyimpanan lainnya, berperan penting dalam menyimpan surplus energi ketika produksi tinggi dan mengeluarkannya saat permintaan meningkat.

Implementasi strategi-strategi ini tidak hanya meningkatkan fleksibilitas sistem kelistrikan tetapi juga mendukung pencapaian target pembangunan berkelanjutan dengan memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang ini akan memperkuat kemampuan sistem kelistrikan untuk beradaptasi dengan dinamika produksi dan konsumsi energi di masa depan.

3. Optimalisasi Perencanaan dan Operasional Pembangkit

Optimalisasi perencanaan dan operasional pembangkit energi terbarukan merupakan langkah strategis untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan sistem energi. Perencanaan yang matang mencakup penyesuaian jadwal operasional pembangkit berdasarkan prediksi permintaan dan produksi energi, serta integrasi teknologi digital untuk pemantauan dan pengendalian secara real-time. Penggunaan data analitik memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam mengelola sumber daya energi terbarukan.

Transformasi digital dalam manajemen operasional industri energi baru terbarukan (EBT) memainkan peran penting dalam mendukung percepatan pengembangan energi terbarukan. Budi Pramono dan Mia Kusmiati dalam buku mereka "Transformasi Digital Manajemen Operasional Industri EBT" menekankan pentingnya penerapan teknologi terkini untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan dan meningkatkan efisiensi operasional. Digitalisasi memungkinkan pemantauan dan pengendalian pembangkit listrik secara real-time, yang dapat meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem (Budi, 2023).

4. Reformasi Kebijakan dan Regulasi Energi

Reformasi kebijakan dan regulasi energi merupakan langkah krusial dalam mempercepat transisi Indonesia menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan rendah karbon. Kebijakan yang mendukung sangat diperlukan untuk mendorong

investasi dan adopsi energi terbarukan. Beberapa aspek utama dalam reformasi ini meliputi penghapusan subsidi bahan bakar fosil, penetapan tarif yang menguntungkan untuk energi terbarukan, dan penyederhanaan proses perizinan. Subsidi bahan bakar fosil telah lama menjadi hambatan dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Subsidi ini menciptakan distorsi harga yang membuat energi fosil lebih murah dibandingkan energi terbarukan, sehingga mengurangi daya saing energi bersih. Laporan dari Institute for Essential Services Reform (IESR) menyatakan bahwa pemberhentian subsidi bahan bakar seperti fosil dapat membuat lapangan kerja yang setara bagi energi terbarukan dan memungkinkan alokasi dana yang lebih efisien untuk pengembangan sektor energi bersih. Selain itu, penghapusan subsidi dapat mengurangi beban fiskal negara dan mengarahkan investasi ke sektor yang lebih berkelanjutan.

Penetapan tarif yang menguntungkan, seperti skema feed-in tariff (FiT), sangat penting untuk menarik investasi di sektor energi terbarukan. FiT memberikan jaminan harga dan kepastian pasar bagi produsen energi terbarukan, sehingga meningkatkan kelayakan finansial proyek-proyek energi bersih. Namun, implementasi FiT di Indonesia masih menghadapi tantangan, seperti ketidakpastian regulasi dan kurangnya insentif yang memadai. Menurut laporan dari Norwegian Institute of International Affairs (NUPI), diperlukan reformasi kebijakan yang lebih mendalam untuk memastikan bahwa tarif yang ditetapkan benar-benar mendukung pertumbuhan energi terbarukan.

Proses perizinan yang kompleks dan birokratis seringkali menjadi hambatan dalam pengembangan proyek energi terbarukan. Penyederhanaan dan percepatan proses perizinan dapat meningkatkan efisiensi dan menarik lebih banyak investor ke sektor ini. Menurut laporan dari SIP Law Firm, regulasi yang mendukung dan proses perizinan yang lebih sederhana akan mempercepat pengembangan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

5. Investasi Infrastruktur dan Teknologi Digital

Investasi dalam infrastruktur dan teknologi digital merupakan pilar utama dalam mendukung integrasi energi terbarukan di Indonesia. Pengembangan jaringan transmisi dan distribusi yang andal sangat penting untuk mengakomodasi sumber energi terbarukan yang tersebar di berbagai wilayah. Pemerintah Indonesia telah mengidentifikasi keterbatasan jaringan transmisi sebagai salah satu kendala utama dalam pengembangan energi terbarukan, yang menghambat investasi dan pertumbuhan

sektor ini. Untuk mengatasi tantangan ini, pemerintah mendorong pembangunan infrastruktur transmisi dan distribusi yang lebih luas dan efisien, serta menawarkan harga yang kompetitif untuk menarik minat investor. Selain itu, penerapan teknologi digital seperti smart grid dan sistem manajemen energi berbasis Internet of Things (IoT) dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kelistrikan. Smart grid memungkinkan pengelolaan distribusi energi secara real-time, mendeteksi gangguan secara otomatis, dan mengintegrasikan sumber energi terbarukan dengan lebih efektif. Sistem manajemen energi berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian konsumsi energi secara real-time, yang dapat membantu mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan efisiensi operasional.

4.4 Peran Smart Grid dalam Strategi Integrasi

Peran smart grid dalam strategi integrasi energi terbarukan di Indonesia sangat krusial untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan sistem kelistrikan. Smart grid memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk mengelola distribusi energi secara real-time, memungkinkan aliran energi dua arah antara penyedia dan konsumen, serta mendukung integrasi sumber energi terbarukan.

Sebuah studi oleh Pujiantara et al. (2023) mengevaluasi penerapan proyek smart grid di Pulau Sema, yang bertujuan meningkatkan akses listrik di daerah terpencil dengan memanfaatkan energi terbarukan lokal. Proyek ini mengintegrasikan panel surya, sistem penyimpanan energi, dan teknologi smart grid untuk mengelola distribusi energi secara efisien. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa meskipun terdapat tantangan terkait kesiapan infrastruktur dan biaya implementasi, proyek ini berhasil meningkatkan keandalan pasokan listrik dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Studi ini merekomendasikan peningkatan kapasitas jaringan, pelatihan sumber daya manusia, serta penguatan kebijakan untuk mendukung pengembangan smart grid di daerah terpencil.

Berdasarkan data BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) pada tahun 2012, di Sumba Barat, proyek smart microgrid diterapkan untuk mendukung transisi energi terbarukan. Proyek ini mengintegrasikan tenaga surya dengan sistem penyimpanan energi serta teknologi smart grid untuk mengelola distribusi energi secara lokal. Hasil implementasi menunjukkan peningkatan efisiensi energi, pengurangan emisi karbon, dan peningkatan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan energi.

Proyek ini juga menjadi model bagi daerah lain dalam penerapan smart grid berbasis energi terbarukan.

Kedua studi kasus tersebut menunjukkan bahwa implementasi smart grid dapat meningkatkan integrasi energi terbarukan, efisiensi sistem kelistrikan, serta keberlanjutan pasokan energi di Indonesia. Namun, untuk mencapai keberhasilan yang lebih luas, diperlukan dukungan kebijakan yang kuat, investasi dalam infrastruktur, serta peningkatan kesadaran dan partisipasi masyarakat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur dalam jurnal ini, dapat disimpulkan bahwa integrasi energi terbarukan ke dalam sistem kelistrikan nasional sangat memungkinkan dan strategis untuk diwujudkan melalui pendekatan Smart Grid. Teknologi Smart Grid memungkinkan pengelolaan distribusi energi secara real-time, integrasi sumber daya terbarukan, serta peningkatan efisiensi dan keandalan sistem energi. Namun, integrasi ini tidak lepas dari tantangan, seperti biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan infrastruktur, resistensi sosial, serta kurangnya kepastian regulasi dan kebijakan. Untuk itu, dibutuhkan sistem yang fleksibel, penyimpanan energi yang andal, serta kebijakan yang progresif dan adaptif. Kunci utama keberhasilan strategi ini terletak pada sinergi antara pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat.

Saran

Diperlukan sinergi antara pemerintah, swasta, akademisi, dan masyarakat untuk mempercepat integrasi energi terbarukan berbasis smart grid di Indonesia. Pemerintah perlu mereformasi kebijakan energi, menyederhanakan perizinan, serta menyediakan insentif yang mendukung investasi. Penguatan infrastruktur, adopsi teknologi digital, serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia menjadi kunci dalam mendukung sistem kelistrikan yang andal dan efisien. Selain itu, edukasi publik dan partisipasi aktif masyarakat sangat penting agar transisi energi dapat berjalan inklusif dan berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Abduruohman. (2023). Tantangan investasi energi baru dan energi terbarukan menuju net zero emission. *Info Singkat Komisi VII DPR RI*, 15(11), 228.
- Arifin, Z. (2020). Smart grid development in Indonesia (PLN).
- Boubii, C., El Kafazi, I., Bannari, R., El Bhiri, B., Bossoufi, B., Kotb, H., AboRas, K. M., Emara, A., & Nasiri, B. (2024). Synergizing wind and solar power: An advanced control system for grid stability. *Sustainability*, 16(2), 815. <https://doi.org/10.3390/su16020815>
- Financial Times. (2025). Indonesia's ambition to quit coal hinges on policy reforms. <https://www.ft.com/content/58e46243-7f2f-42f2-be92-5ba3b660c108>
- Ghazali, R., et al. (2025). Potential and challenges of renewable energy management: Socio-economic perspective in Indonesia.
- Halimatussadiyah, A., et al. (2024). Indonesia's barriers in renewable energy transition. *Chicago Policy Review*.
- Hamoodi, S. A., Hamoodi, A. N., & Mohammed, R. A. (2024). Design and simulation of smart grid based on solar photovoltaic and wind turbine plants. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 57(4), 953–961. <https://doi.org/10.18280/jesa.570403>
- Hidayatullah, N. A., & Sudirman, D. E. J. (2017). Desain dan aplikasi Internet of Thing (IoT) untuk smart grid power system. *VOLT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 35–44. <https://doi.org/10.30870/volt.v2i1.1347>
- Judijanto, L., Sulaiman, A., & Tahir, U. (2024a). The effect of smart grid implementation on the integration of new renewable energy in Indonesia's electricity system. *West Science Nature and Technology*, 2(4), 207–213. <https://wsj.westscience-press.com/index.php/wsnt/article/view/164>
- Judijanto, L., Sulaiman, A., & Tahir, U. (2024b). The effect of smart grid implementation on the integration of new renewable energy in Indonesia's electricity system.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2008, 24 Agustus). Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2021, 10 Februari). 25 sistem smart grid dibangun hingga 2024. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/25-sistem-smart-grid-dibangun-hingga-2024>
- Kiasari, M., Ghaffari, M., & Aly, H. H. (2024). A comprehensive review of the current status of smart grid technologies for renewable energies integration and future trends: The role of machine learning and energy storage systems. *Energies*, 17(16), 4128. <https://doi.org/10.3390/en17164128>

- Koohi-Fayegh, S., & Rosen, M. A. (2020). A review of renewable energy options, applications, facilitating technologies and recent developments. *European Journal of Sustainable Development Research*, 4(4), em0138. <https://doi.org/10.29333/ejosdr/8432>
- Laanaoui, M., & Raghay, S. (2022). Enhancing OLSR protocol by an advanced greedy forwarding mechanism for VANET in smart cities. *Smart Cities*, 5(2), 650–667.
- Meena, S. B., Patil, P. R., Kandharkar, S. R., Hemalatha, N., Khade, A., Dixit, K. K., & Chinthamu, N. (2023). The evolution of smart grid technologies: Integrating renewable energy sources, energy storage, and demand response systems for efficient energy distribution. *Nanotechnology Perceptions*, 19(1), 1–14.
- Mohammed, O. M. (2021). Renewable energy: Sources, integration and application: Review article. *Journal of Engineering Research and Reports*, 20(12), 143–161. <https://doi.org/10.9734/JERR/2021/v20i1217426>
- Nelly, Susanti, Radhiana, Fitriliana, Syamsuddin, N., & Marlina. (2024). Strategi mengintegrasikan energi terbarukan, inovasi teknologi, dan konservasi hutan sebagai pembangunan berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Serambi Mekkah*, 9(3), 9421–9429.
- Nurahmani, A., & Yuda, M. A. S. (2024). Opportunities and challenges for new and renewable energy development in Indonesia: Towards net zero emission. *International Journal of Research in Social Sciences*, 3200–3212.
- Pujiantara, M., Arifin, Z., Windarko, N. A., Anggriawan, D. O., Asfani, D. A., Briantoro, H., Triyono, N. A., & Hardimasyar, T. (2023). Smart grid pilot project evaluation and recommendations in Indonesia: Case study of Semaui Island. In *Proceedings of the 10th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI 2023)* (pp. 71–76). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EECSI59885.2023.10295695>
- Putra, B. R., & Rusgianto, S. (2023). Analysis of energy consumption and carbon emissions in Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 21(01), 31–45.
- Sinaga, D. H., Sasue, R. R. O., & Hutahaean, H. D. (2021). Pemanfaatan energi terbarukan dengan menerapkan smart grid sebagai jaringan listrik masa depan. *Journal Zetroem*, 3(1), 11–17.
- SIP Law Firm. (2025). Izin pengembangan energi terbarukan di Indonesia. <https://siplawfirm.id/izin-pengembangan-energi-terbarukan-di-indonesia/>
- Vakulchuk, R., Chan, H. Y., Kresnawan, M. R., Merdekawati, M., Overland, I., Sagbakken, H. F., Suryadi, B., Utama, N. A., & Yurnaidi, Z. (2020). Indonesia: How to boost investment in renewable energy (Policy Brief No. 06/2020). Norwegian Institute of International Affairs & ASEAN Centre for Energy. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11060.07047>
- Yusuf, M., & Resosudarmo, B. P. (2019). Ekonomi politik energi terbarukan: Peluang dan tantangan di Indonesia. *Multiverse*, 1382–1395.