

Implementasi renewable energy, smart grid, dan green technology dalam mendukung sustainable development di Indonesia

Nanda Rahmat Nor Kholik

Program studi teknik elektro, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
e-mail: nandarahmatnorkholik@gmail.com

Kata Kunci:

energi terbarukan, teknologi hijau, energi berkelanjutan, pembangkit listrik tenaga surya, arsitektur berkelanjutan.

Keywords:

renewable energy, green technology, sustainable energy, solar power plant, sustainable, architecture

ABSTRAK

Dengan meningkatnya permintaan energi di seluruh dunia dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil, mencapai pembangunan berkelanjutan menjadi sangat sulit. Emisi gas rumah kaca dipicu oleh penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan yang juga menyebabkan perubahan iklim dan kerusakan lingkungan. Salah satu dampak lingkungan utama adalah “penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan dan emisi gas rumah kaca ke atmosfer” yang meliputi pemanasan global dan kondisi iklim yang tidak menentu. Pertumbuhan energi terbarukan sangat penting untuk keberlanjutan lingkungan dan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi yang tidak terbarukan. Indonesia memiliki

banyak potensi energi terbarukan karena lokasinya dan iklimnya. Keamanan energi jangka panjang dapat dipastikan melalui penggunaan sumber energi terbarukan seperti energi surya, biomassa, hidro, panas bumi, dan angin. Penelitian ini membahas peran teknologi hijau dan energi terbarukan dalam pengembangan sistem energi berkelanjutan dan infrastruktur hijau di Indonesia. Metodologi penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kualitatif yang merupakan tinjauan literatur dan analisis referensi ilmiah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi energi terbarukan seperti pemanfaatan biomassa, panel surya fotovoltaik, dan sistem tenaga hibrida memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendorong pembangunan berkelanjutan. Lebih lanjut, kolaborasi antara instansi pemerintah, akademisi, dan masyarakat sangat penting untuk mempercepat penerapan teknologi energi terbarukan di berbagai industri dan untuk mengembangkan masa depan yang lebih berkelanjutan.

ABSTRACT

With the increasing demand for energy worldwide and the depletion of fossil fuel reserves, achieving sustainable development has become very difficult. Greenhouse gas emissions are triggered by the excessive use of fossil fuels which also causes climate change and environmental damage. One of the main environmental impacts is “the excessive use of fossil fuels and greenhouse gas emissions into the atmosphere” which includes global warming and uncertain climate conditions. The growth of renewable energy is crucial for environmental sustainability and to reduce dependence on non-renewable energy sources. Indonesia has a lot of renewable energy potential due to its location and climate. Long-term energy security can be ensured through the use of renewable energy sources such as solar, biomass, hydro, geothermal, and wind energy. This study discusses the role of green technology and renewable energy in the development of sustainable energy systems and green infrastructure in Indonesia. The research methodology used is qualitative descriptive research which is a literature review and analysis of scientific references. The results of the study indicate that renewable energy technologies such as biomass utilization, photovoltaic solar panels, and hybrid power systems have great potential to reduce dependence on fossil fuels and promote sustainable development. Furthermore, collaboration between government agencies, academics, and the community is crucial to accelerate the adoption of renewable energy technologies across industries and to develop a more sustainable future.



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pendahuluan

Konsumsi energi di dunia telah meningkat pesat dalam beberapa dekade terakhir karena aktivitas industri, peningkatan populasi, dan perkembangan teknologi. Sebagian besar negara, termasuk Indonesia, masih menggunakan gas alam, minyak bumi, batubara, dan bahan bakar fosil lainnya untuk menghasilkan energi. Namun, penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan telah menyebabkan banyak masalah lingkungan, termasuk polusi udara, emisi gas rumah kaca, dan perubahan iklim global (Sarii, 2024). Situasi ini menunjukkan pentingnya sumber energi alternatif dan berkelanjutan yang ramah lingkungan dan dapat menjamin ketersediaan energi dalam jangka panjang. Energi terbarukan adalah salah satu pilihan paling menjanjikan untuk mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil dan sekaligus mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Indonesia memiliki banyak jenis sumber energi terbarukan seperti angin, matahari, biomassa, panas bumi, dan air.

Dengan iklim tropis dan lokasi strategisnya, Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan teknologi energi terbarukan di berbagai wilayah. Menurut Indira & Zamza (2025), pemahaman ilmiah dan kemajuan teknologi diperlukan untuk memaksimalkan pengembangan energi terbarukan dan meningkatkan efisiensi. Penggunaan energi terbarukan memiliki dampak positif terhadap lingkungan, ekonomi nasional, dan keamanan energi. Indonesia memiliki banyak sinar matahari sepanjang tahun. Jadi, sistem tenaga surya adalah salah satu teknologi energi terbarukan yang semakin populer. Di daerah terpencil dan pesisir dengan akses listrik yang terbatas, pengembangan sistem fotovoltaik (PV) termasuk pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung ke jaringan listrik dapat menurunkan biaya listrik dan mengurangi emisi karbon. Selain itu, sistem energi hibrida yang menggabungkan teknologi fotovoltaik dengan generator konvensional juga dianggap sebagai solusi praktis. Gagasan pembangunan berkelanjutan dan pengembangan teknologi hijau sangat berkaitan dengan implementasi sistem energi terbarukan.

Teknologi hijau telah menjadi cara yang bagus dalam arsitektur untuk meningkatkan keberlanjutan lingkungan dan efisiensi energi. Penerangan, pendinginan, dan pengoperasian bangunan membutuhkan banyak energi. Di kampus tropis, strategi desain pasif, sistem ventilasi alami, atap reflektif, dan panel surya fotovoltaik dapat mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan kenyamanan termal (Astuti, 2025). Arsitektur berkelanjutan melibatkan efisiensi energi bersama dengan strategi dan teknik desain yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Selain itu, implementasi teknologi hijau di lembaga pendidikan, khususnya di kampus universitas, dapat berkontribusi dalam mencapai gagasan dan tujuan kampus hijau dan pembangunan berkelanjutan. Studi dan pengembangan infrastruktur universitas sangat penting untuk meningkatkan kesadaran lingkungan, kemajuan teknologi, dan praktik berkelanjutan. Studi di lingkungan yang ramah lingkungan menggunakan sistem energi terbarukan dan prinsip desain berkelanjutan serta mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini mengeksplorasi strategi arsitektur hijau dan teknologi energi terbarukan untuk mendukung sistem energi berkelanjutan dan pengembangan infrastruktur hijau di Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat

menunjukkan peran energi terbarukan, bangunan hemat energi, dan kemajuan teknologi dalam pembangunan berkelanjutan dan pelestarian lingkungan.

Metode Investigasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metodologi penelitian kualitatif deskriptif. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari penggunaan arsitektur hijau dan teknologi energi dalam pembangunan proyek-proyek masa depan. Pemilihan pendekatan kualitatif didasarkan pada fakta bahwa pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang fenomena yang diteliti melalui analisis dan penafsiran data yang relevan. Studi ini membahas perkembangan infrastruktur di Indonesia, penggunaan energi terbarukan, dan penggunaan teknologi manusia. Penelitian ini menggunakan data sekunder dari buku, artikel, dan jurnal ilmiah tentang energi baru, teknologi manusia, sistem surya, arsitektur berkelanjutan, dan sistem listrik hibrida. Referensi dipilih berdasarkan kontribusinya terhadap pengembangan energi dan hubungannya dengan topik penelitian.

Biomassa dan biofuel merupakan sumber energi alternatif yang memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas dari rumah tangga (Sarii, 2024). (Indria & Zamza, 2025) juga menjelaskan bahwa keberhasilan pengembangan energi di Indonesia sangat bergantung pada pengembangan pengetahuan dan teknologi. Proses penelitian meliputi pengumpulan data, klasifikasi literatur, analisis isi, dan interpretasi hasil. Literatur yang dianalisis didasarkan pada relevansinya dengan konsep kampus hijau, teknologi fotovoltaik, efisiensi energi bangunan, dan terbarukan energi. Analisis data deskriptif yang dikumpulkan juga digunakan untuk mengetahui kekuatan, kelemahan, dan strategi implementasi penggunaan energi dan teknologi hijau di berbagai sektor.

Selain itu, penelitian ini juga membahas penggunaan sistem hibrida genset-fotovoltaik dan teknologi bangunan tenaga surya (sistem PV) di lingkungan perumahan dan pendidikan. Di samping itu, pemanfaatan teknologi hijau pada arsitektur kampus diteliti untuk menganalisis kontribusinya terhadap kenyamanan termal dan efisiensi energi. Di daerah tropis, bangunan dapat mengurangi penggunaannya dengan menggunakan panel fotovoltaik, strategi desain pasif, dan ventilasi alami (Astuti, 2025). Integrasi sistem energi dengan konsep arsitektur berkelanjutan dianggap dapat membantu dalam pengembangan infrastruktur yang kuat dan berkelanjutan. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi akademisi, peneliti, instansi pemerintah, dan masyarakat umum tentang pentingnya pengembangan teknologi manusia dan penggunaan energi di Indonesia. Namun, diharapkan studi ini akan mendorong penggunaan teknologi hijau yang lebih maju di masa mendatang untuk memfasilitasi konstruksi berkelanjutan, keamanan energi, dan perlindungan lingkungan.

Pembahasan

Prospek Indonesia di Bidang Energi Terbarukan

Letak geografis dan sumber daya alam Indonesia memberikannya potensi produksi energi yang lebih besar. Indonesia adalah negara tropis dengan sinar matahari

sepanjang tahun, selain itu merupakan tempat yang sempurna untuk mengembangkan energi surya. Lebih jauh lagi, Indonesia memiliki potensi besar untuk menghasilkan energi biomassa, hidro, angin, dan panas bumi di banyak daerah. Penggunaan sumber energi terbarukan merupakan cara yang baik untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak terbarukan, yang menyebabkan masalah bagi lingkungan. Produksi bahan bakar fosil dan gas rumah kaca yang semakin banyak menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim (Sarii, 2024). Pengembangan energi terbarukan sangat penting untuk keberlanjutan energi di masa depan. Biomassa dan biofuel merupakan sumber energi alternatif, karena berasal dari bahan organik yang dapat dibakar secara alami.

Biomassa dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif dan juga sebagai pengurangan limbah organik yang dihasilkan oleh industri peternakan, pertanian, dan perkebunan. Energi biomassa mirip dengan energi surya sebagai sumber energi yang tersedia di Indonesia. Teknologi fotovoltaik digunakan oleh pembangkit listrik tenaga surya untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Pengembangan sistem fotovoltaik sangat dibutuhkan di negara-negara tropis yang memiliki radiasi matahari yang melimpah. Menurut (Teknik dkk., 2025), sistem tenaga surya on-grid dapat mengurangi penggunaan listrik tradisional dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi di lingkungan pendidikan. Sistem hibrida yang menghubungkan beberapa sumber energi ke satu sistem pembangkit listrik dapat digunakan untuk pengembangan energi berkelanjutan. Berdasarkan (Nabiel dkk., 2023) Pengembangan Pembangkit Listrik Hybrid Genset-PV, penggunaan kombinasi generator diesel dan panel fotovoltaik berpotensi meningkatkan stabilitas daya listrik terutama di daerah dengan akses infrastruktur listrik yang terbatas. Sistem hibrida semacam ini dapat menjadi solusi yang baik dan berkelanjutan untuk kebutuhan energi lokal.

Namun teknologi juga memainkan peran besar dalam arsitektur dalam hal efisiensi energi. (Astuti, 2025) menyatakan bahwa penerapan sistem ventilasi alami, desain pasif, material reflektif, dan panel fotovoltaik dapat secara efektif mengurangi konsumsi energi di bangunan tropis. Penerapan prinsip arsitektur hijau tidak hanya meningkatkan kenyamanan termal, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan lingkungan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Sebagai contoh, istilah “kampus hijau” adalah salah satu penerapan teknologi hijau di lembaga pendidikan untuk mengurangi penggunaan energi konvensional dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan. Selain efisiensi energi, pengembangan arsitektur juga harus meningkatkan fungsionalitas bangunan dan kepuasan pengguna. Ventilasi yang buruk dapat memengaruhi kesehatan dan konsumsi energi pengguna (Rahmadani dkk., 2026). Prinsip-prinsip arsitektur di atas harus digunakan untuk mendesain bangunan yang lebih responsif terhadap lingkungan dan efisien. Perkembangan energi dan teknologi hijau di Indonesia menunjukkan pentingnya inovasi teknologi dalam konstruksi masa depan. Kemajuan teknologi di sektor energi dapat membantu meningkatkan efisiensi dan produktivitas lingkungan dari penggunaan sumber daya alam (Indria & Zamza, 2025). Diharapkan dengan dukungan pemerintah, akademisi, dan masyarakat umum, penggunaan energi di Indonesia akan meningkatkan keamanan energi nasional dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Dampak dan Tantangan Pengembangan Energi Terbarukan

Terdapat beberapa dampak positif dari pengembangan energi di Indonesia yang dapat dilihat dari aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Sumber energi seperti biomassa, energi surya, dan sistem hibrida dapat mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil, yang secara historis merupakan sumber utama emisi karbon. Penggunaan energi terbarukan dapat meningkatkan kualitas lingkungan dengan mengurangi emisi gas dan polusi udara. Berinvestasi di bidang energi dapat menciptakan lapangan kerja baru dan memacu pertumbuhan ekonomi, terutama di industri konstruksi, manufaktur panel, dan teknologi energi.

Teknologi tenaga surya listrik (sistem PV) juga dapat meminimalkan biaya operasional listrik jangka panjang. (Menurut Teknik et al., 2025) sistem fotovoltai on-grid dapat mengurangi penggunaan listrik konvensional dan meningkatkan efisiensi energi di gedung pendidikan. Namun, teknologi manusia dalam arsitektur juga membuat bangunan lebih hemat energi. Pencahayaan alami, ventilasi, dan teknik desain pasif dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi listrik, terutama sistem penerangan dan pendingin udara. Astuti (2025) menyatakan bahwa penerapan prinsip arsitektur hijau pada struktur tropis dapat meningkatkan kenyamanan termal dan konstruksi selanjutnya. Penerapan prinsip kampus hijau membantu meningkatkan pengetahuan tentang isu-isu lingkungan di kalangan akademisi dan kelompok mahasiswa. Saat ini, pengembangan energi di Indonesia memiliki banyak manfaat tetapi juga banyak kekurangan.

Pengembangan infrastruktur energi merupakan upaya multi-modal. Misalnya, pemasangan panel surya, sistem manajemen energi, dan teknologi jaringan pintar, semuanya sangat sulit. Di beberapa daerah, kemajuan teknologi dan kurangnya sumber daya manusia berkualitas tinggi juga menghambat pengembangan sistem energi. Isu lain adalah kesadaran masyarakat akan pentingnya penggunaan sumber energi ramah lingkungan. Namun, dalam jangka panjang, penggunaan bahan bakar fosil dapat memengaruhi kesehatan manusia dan lingkungan. Menurut Sarri (2024), salah satu penyebab utama perubahan iklim global adalah peningkatan emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil. Faktor sosial dan ekonomi hanyalah dua dari banyak faktor yang berkontribusi pada pengembangan energi berkelanjutan. Diperlukan lebih banyak dukungan pemerintah dan implementasi kebijakan. Untuk mempercepat adopsi energi di Indonesia, diperlukan program, insentif, dan regulasi dari pemerintah. Selain itu, diperlukan dukungan untuk penelitian ilmiah dan inovasi teknologi agar produksi energi menjadi lebih sukses dan efisien. Oleh karena itu, diperlukan kerja sama antara pemerintah, akademisi, komunitas bisnis, dan masyarakat umum untuk meningkatkan transisi menuju penggunaan energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Pengembangan energi di Indonesia dalam waktu dekat diharapkan dapat meningkatkan keamanan energi nasional, melindungi lingkungan, dan mendorong pembangunan yang efisien melalui kerja sama tim.

Aplikasi Energi Terbarukan dan Teknologi Hijau

Dengan meningkatnya penggunaan energi dan dorongan untuk keberlanjutan lingkungan di Indonesia, negara ini semakin mengadopsi teknologi terkait energi. Sektor

pendidikan, perdagangan, perumahan, dan gedung perkantoran telah menerima konsumsi energi ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang paling populer adalah penggunaan sistem fotovoltaiik sebagai sumber energi alternatif yang lebih maju dan andal. Penempatan sistem fotovoltaiik di fasilitas pendidikan dilakukan secara strategis untuk mencapai efisiensi energi yang lebih baik dan untuk mempromosikan gagasan (Teknik dkk., 2025). Ini berarti bahwa sistem fotovoltaiik on-grid dapat meningkatkan efisiensi energi kampus dan mengurangi penggunaan listrik konvensional. Teknologi ini tidak hanya dapat menghasilkan listrik hijau tetapi juga mengurangi biaya operasional jangka panjang listrik.

Sistem hibrida genset-fotovoltaiik telah mampu memenuhi kebutuhan listrik di dan lokasi pesisir bersamaan dengan sistem tenaga surya. Penambahan panel surya pada generator konvensional dapat meningkatkan stabilitas listrik dan mengurangi kebutuhan bahan bakar fosil, menurut (Teknik dkk., 2025). Sistem hibrida lebih fleksibel karena masih dapat digunakan ketika kondisi cuaca menyebabkan tenaga surya pembangkitan. Dalam arsitektur, teknologi hijau adalah penerapan konsep hemat energi dan ramah lingkungan. Desain pasif, pencahayaan dan ventilasi alami, serta desain reflektif dapat mengurangi konsumsi listrik bangunan. Penerapan teknologi hijau di kampus tropis dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal (Astuti, 2025). Konsep “arsitektur hijau” bukan hanya soal keindahan bangunan, melainkan juga kesehatan manusia dan keberlanjutan lingkungan. Implementasi arsitektur berkelanjutan juga perlu meningkatkan keselamatan dan ruang fungsional pengguna.

Desain bangunan yang kurang ventilasi, pencahayaan, dan efisiensi ruang yang memadai dapat menyebabkan konsumsi energi yang lebih tinggi dan kenyamanan pengguna yang lebih rendah (Rahmadani dkk., 2026). Untuk membuat bangunan lebih ramah lingkungan, konsep arsitektur hijau perlu diterapkan. Beberapa faktor yang menyebabkan konsumsi energi di Indonesia masih relatif rendah adalah biaya investasi awal yang tinggi, perkembangan teknologi, dan kurangnya kesadaran masyarakat tentang penggunaan energi di lingkungan. Untuk meningkatkan adopsi energi di banyak sektor, pemerintah perlu mendukung pengembangan infrastruktur, insentif, dan peraturan. Peningkatan teknologi dan lingkungan dari berbagai sumber diharapkan mampu meningkatkan keamanan energi nasional Indonesia, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan mendorong pembangunan yang lebih cepat di masa depan.

Peran Pemerintah dan Kebijakan

Pemerintah memiliki peran penting dalam mengembangkan energi terbarukan dan teknologi manusia di Indonesia. Dukungan ini dapat diterapkan pada insentif, kebijakan, pengembangan infrastruktur, dan kemajuan penelitian dan inovasi di bidang teknologi energi. (Indria & Zamza, 2025) menyatakan bahwa untuk menerapkan energi terbarukan secara efektif dan berkelanjutan, diperlukan fondasi teknologi dan pemahaman ilmiah yang kuat. Pemerintah Indonesia masih mendorong pemanfaatan energi dalam konteks mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah tangga. Lebih jauh lagi, pengembangan energi hijau telah menjadi langkah penting untuk mencapai keberlanjutan lingkungan dan meningkatkan keamanan energi nasional. Sari (2024) mengatakan bahwa “penggunaan bahan bakar fosil yang

berlebihan” dapat meningkatkan emisi gas rumah tangga dan memperlambat perubahan iklim global. Kebijakan transisi energi telah berkembang menjadi salah satu strategi paling signifikan untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan energi konvensional. Salah satu program pemerintah adalah mendorong penggunaan sistem fotovoltaik, sistem listrik, dan teknologi energi hemat di berbagai sektor. Peningkatan penggunaan sistem fotovoltaik di lembaga pendidikan dan ruang publik akan meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi penggunaan listrik konvensional.

(Teknik dkk., 2025) Menjelaskan bahwa penggunaan sistem tenaga surya on-grid dapat mengurangi penggunaan listrik dan membantu dalam penggunaan energi yang ramah lingkungan. Selain mendorong pengembangan teknologi energi, pemerintah juga memiliki peran penting dalam menerapkan konsep arsitektur dan kampus hijau. (Astuti, 2025) menyatakan bahwa penerapan teknologi hijau pada pembangunan kampus di lingkungan tropis dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal. Oleh karena itu, pemerintah harus mendorong pembangunan infrastruktur untuk mengurangi konsumsi energi di industri konstruksi. Penulis mengklaim bahwa pencapaian pembangunan energi di Indonesia bukan hanya karena kemajuan teknologi, tetapi juga karena kebijakan pemerintah yang stabil, dukungan investasi, dan keterlibatan masyarakat dalam mengadopsi sistem energi yang ramah lingkungan. Pembangunan energi Indonesia akan terus memperkuat infrastruktur energi negara dan mencegah degradasi lingkungan untuk generasi mendatang melalui kerja sama antar instansi pemerintah, lembaga akademik, bisnis, dan masyarakat umum.

Perbandingan Energi Terbarukan (EBT) dan Energi Fosil Energi

Energi merupakan kebutuhan aktivitas manusia modern, terutama di sektor industri, transportasi, dan angkutan. Energi terbagi menjadi dua kategori utama: energi fosil (minyak, batubara, dan gas alam) dan energi terbarukan (RE) termasuk tenaga surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi. Energi-energi ini memiliki pro dan kontra, sangat berbeda dari segi lingkungan, ekonomi, dan keberlanjutan jangka panjang. Di banyak negara seperti Indonesia, misalnya, dengan efisiensi energi yang tinggi, teknologi canggih, dan infrastruktur yang maju, bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi dominan. Namun, pembakaran bahan bakar fosil memiliki dampak negatif yang besar terhadap lingkungan. Produksi bahan bakar fosil menghasilkan gas rumah kaca seperti CO₂, NO_x, dan PM_{2.5} yang secara langsung terkait dengan pemanasan global dan polusi. Selain itu, bahan bakar fosil terbatas dan pada akhirnya akan habis. Di sisi lain, energi terbarukan (EBT) adalah total energi yang diperoleh dari suatu proses yang masih dapat digunakan.

Tujuan utama EBT adalah untuk mengurangi perubahan iklim dengan meminimalkan emisi karbon sebisa mungkin selama fase operasional sehingga lingkungan menjadi lebih tangguh. Selain itu, EBT memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan keamanan energi jangka panjang karena tidak mempengaruhi sumber daya listrik terbatas. Namun, EBT juga memiliki beberapa kekurangan seperti kebutuhan teknologi terkait energi untuk menjaga stabilitas listrik, biaya instalasi yang relatif tinggi, dan ketergantungan pada kondisi alam (seperti sinar matahari atau angin). Namun, inovasi teknologi seperti smart grid, baterai energi, dan sistem hibrida telah meningkatkan efisiensi dan

keamanan EBT dalam sistem energi kontemporer. EBT lebih unggul dalam hal keberlanjutan, dampak lingkungan, dan potensi jangka panjang, sedangkan bahan bakar fosil lebih unggul dalam hal infrastruktur dan stabilitas jangka pendek yang telah selesai.

Dari studi komprehensif, beberapa penelitian menunjukkan bahwa transfer energi dari energi fosil ke EBT (Energi Terbarukan Berbasis Biomassa) merupakan langkah penting dalam menciptakan sistem energi yang lebih stabil dan mengurangi dampak perubahan iklim global. Transformasi energi sangat penting dalam konteks Indonesia karena pengaruh kuat batubara dan bumi minyak. Banyak temuan penelitian menunjukkan bahwa pengembangan EBT, seperti biomassa, tenaga surya, dan panas bumi energi, dapat secara signifikan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, terutama dalam mewujudkan tujuan emisi nol bersih di masa depan. Bahan bakar fosil dan energi merupakan entitas yang berbeda dalam sistem energi global. Bahan bakar fosil masih melebihi kebutuhan energi kita saat ini, tetapi juga memiliki dampak lingkungan yang besar. Terbarukan energi lebih merupakan solusi jangka panjang, tetapi juga lebih maju. Masih ada kendala teknis dan ekonomi. Dalam jurnal Analisis Dampak Penggunaan Energi Fosil Terhadap Kualitas Udara dan Peluang Implementasi Energi Terbarukan di Indonesia (Jurnal et al., nd) dan Transformasi Energi di Indonesia: Tantangan dan Peluang Pengembangan Energi Baru (Airlangga, 2025).

Data Energi Terbarukan (PBT) di Indonesia

Indonesia terletak di daerah tropis dan memiliki kondisi geografis yang mendukung banyak sumber energi seperti energi surya, udara, angin, biomassa, dan energi panas bumi yang memiliki potensi transfer energi yang sangat besar (PBT). Namun, penggunaan PBT di Indonesia masih relatif rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, meskipun memiliki potensi yang sangat besar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar fosil masih mendominasi struktur energi di Indonesia. Struktur energi di Indonesia masih didominasi oleh batu bara, minyak bumi, dan gas alam yang mencapai hampir 90% dari total konsumsi energi di Indonesia. Namun kontribusi energi ini masih berada di angka pertama, tetapi akan tumbuh dalam beberapa tahun ke depan. Ini berarti Indonesia masih dalam fase transisi energi menuju sistem yang lebih stabil. Studi ini menunjukkan bahwa konsumsi energi Indonesia meningkat secara stabil dari tahun 2015 hingga 2022 sesuai dengan kebijakan pemerintah tentang transfer energi dan komitmen global untuk mengurangi emisi karbon. Pengembangan listrik berbasis PBT mencakup proyek-proyek seperti Pembangkit Listrik Tenaga Udara (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di berbagai daerah di Indonesia.

Selain itu, Indonesia memiliki potensi energi teknologi yang sangat besar. Pertama adalah potensi energi surya yang tersebar di seluruh Indonesia dengan intensitas radiasi tinggi sepanjang tahun. Selanjutnya adalah potensi energi bumi yang tinggi di seluruh dunia karena lokasinya di Cincin Api. Kemudian ada potensi biomassa dari sektor pertanian dan perkebunan. Namun potensi tersebut masih jauh dari terealisasi secara optimal karena banyak faktor seperti investasi awal yang tinggi, infrastruktur listrik yang terbatas, dan resistensi ekonomi terhadap bahan bakar fosil. Dalam konteks kebijakan energi nasional, pemerintah Indonesia menargetkan peningkatan penggunaan EBT dalam produksi energi nasional melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Net

Zero Emission (NZE) pada tahun 2060. Inisiatif ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah bangunan berbasis listrik, memodernisasi jaringan listrik melalui smart grid, dan meningkatkan investasi di sektor energi.

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan EBT di Indonesia masih relatif rendah dibandingkan dengan potensinya. Misalnya, EBT memiliki banyak potensi, tetapi pemanfaatannya masih terbatas oleh sumber daya yang tersedia, sehingga terdapat kesenjangan besar antara potensi dan implementasinya. Itulah hambatan terbesar bagi pengembangan energi Indonesia di masa depan. Tren menunjukkan bahwa di masa depan akan terjadi peningkatan energi surya dan angin sebagai sumber energi dan peningkatan sistem manajemen energi untuk mengurangi energi intermiten. Dengan perkembangan teknologi ini, di masa depan EBT akan menjadi bagian penting dari sistem energi nasional. Data menunjukkan bahwa meskipun Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk EBT, penggunaan EBT masih sangat terbatas. Namun, kemajuan teknologi dan kebijakan transfer energi tidak mempengaruhi kebutuhan akan EBT. Masalah utamanya adalah infrastruktur, investasi, dan penolakan terhadap bahan bakar fosil. Analisis data energi Indonesia ini didukung oleh penelitian (Sianipar dkk., nd) dalam jurnal Analisis Pemetaan Potensi dan Realisasi Energi Baru Terbarukan di Indonesia, yang menunjukkan bahwa pemanfaatan EBT hanya sekitar 8% dibandingkan dengan dominasi bahan bakar fosil sebesar 92%, dan penelitian (Solikhah, 2024) dalam Kajian Energi Baru Terbarukan di Indonesia, yang menyatakan bahwa Indonesia memiliki potensi besar namun implementasi EBT masih belum memadai.

Smart Grid

Smart grid atau “listrik cerdas” adalah sistem kelistrikan konvensional yang dapat dikembangkan dengan integrasi teknologi digital, komunikasi dan otomasi untuk meningkatkan efisiensi, keamanan dan efektivitas sistem tersebut. Jaringan pintar memungkinkan data listrik dikumpulkan secara real-time dalam dua arah antara penyedia energi dan pengguna, sedangkan sistem kelistrikan tradisional didasarkan pada satu arah (pembelian konsumen). Teknologi seperti Internet of Things (IoT), sensor pintar, Advanced Metering Infrastructure (AMI) dan sistem kontrol otomatis digunakan dalam sistem jaringan pintar untuk memantau, mengendalikan, dan mengoptimalkan distribusi listrik. Hal ini membuat sistem lebih responsif terhadap variasi gangguan, beban, dan integrasi energi. Penerapan smart grid di Indonesia merupakan suatu keharusan untuk memperbaiki keadaan sistem kelistrikan. Permasalahan sistem kelistrikan adalah distribusi energi di wilayah, rugi-rugi daya, dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Smart grid dapat memberikan kelistrikan pemeliharaan sistem secara real time. Hal ini dapat membantu mempercepat deteksi gangguan dan meningkatkan efisiensi penyaluran listrik. Manfaat utama dari jaringan pintar adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan sumber daya energi seperti biomassa, angin, dan matahari. Aliran energi tidak stabil (intermiten), sehingga dibutuhkan sistem cerdas yang dapat mengatur tingkat dan permintaan energi.

Smart grid memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam penerapan sistem manajemen energi (baterai) dan sistem manajemen sisi permintaan (demand side management) dalam jaringan listrik. Dari perspektif teknologi, smart grid merupakan perpaduan teknologi informasi dan sistem tenaga. Sensor dalam jaringan listrik akan

terus mengirimkan data ke pengendali pusat. Selanjutnya, data tersebut dianalisis menggunakan algoritma cerdas seperti algoritma kecerdasan buatan untuk optimasi distribusi energi. Metode ini membantu perusahaan listrik untuk meningkatkan pendapatan, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi biaya operasional. Implementasi smart grid di Indonesia masih dalam tahap awal pengembangan. Dalam beberapa penelitian, penerapan smart grid dapat menghasilkan peningkatan efisiensi listrik, mengurangi kerugian, dan meningkatkan sistem distribusi listrik nasional. Namun, terdapat juga tantangan besar seperti kebutuhan infrastruktur digital, biaya investasi yang tinggi, dan regulasi yang lebih ketat untuk mendorong transformasi sistem kelistrikan nasional. Selain itu, keamanan merupakan isu penting dalam pengembangan smart grid. Sistem ini terhubung ke internet dan sistem digital, sehingga meningkatkan risiko serangan siber terhadap infrastruktur energi. Hal ini membutuhkan sistem keamanan yang kuat untuk melindungi data dan jaringan operasional Listrik.

Smart grid merupakan solusi yang tepat dalam keseluruhan sistem energi modern. Smart grid mengintegrasikan teknologi digital dengan sumber daya energi yang ada untuk menciptakan sistem energi yang lebih efisien, fleksibel, dan ramah lingkungan. Jaringan cerdas merupakan faktor penting di Indonesia untuk mendorong transfer energi menuju Emisi Nol Bersih (Net Zero Emissions) pada tahun 2060. Kesimpulan Smart grid adalah sistem energi era baru yang menggunakan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan integrasi energi. Teknologi ini memiliki banyak potensi di Indonesia, namun terdapat beberapa masalah terkait infrastruktur, keuangan, dan regulasi. Lita Larashati, Nabila Anandita, Nida Fauzziyyah Hasanah (2026) dalam jurnal penelitian berjudul Peran Smart Grid dalam Efisiensi Energi Listrik di Indonesia, menyatakan bahwa smart grid mampu meningkatkan efisiensi distribusi energi dan meminimalkan gangguan pada sistem kelistrikan. Penelitian (Putra et al., 2025) dalam Penerapan Smart Grid pada Sistem Distribusi Listrik di Sumatera Utara menunjukkan bahwa smart grid dapat meningkatkan integrasi energi.

Kesimpulan dan Saran

Pengembangan energi terbarukan (EBT) di Indonesia memiliki potensi besar untuk memperkuat sistem kelistrikan nasional dan lingkungan. Alternatif penting untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang saat ini mendominasi sistem energi nasional, adalah penggunaan sumber energi seperti energi surya, air, angin, biomassa, dan panas bumi. Namun, transfer energi masih agak rumit. Tantangannya adalah ketergantungan yang tinggi pada energi fosil, infrastruktur listrik yang terbatas, dan integrasi energi terbarukan yang kurang memadai ke dalam sistem listrik nasional. Selain itu, masalah teknis seperti sifat intermiten beberapa sumber energi, biaya investasi awal yang tinggi, dan keterbatasan teknologi penyimpanan energi juga menjadi hambatan utama dalam pengembangannya. Dari sudut pandang kebijakan, masih perlu diperkuat konsistensi regulasi energi dan dukungan investasi untuk meningkatkan persepsi implementasi energi.

Kurangnya kesadaran masyarakat tentang energi bersih dan kurangnya sumber daya manusia yang ahli dalam energi baru terkini juga berdampak negatif pada proses transisi

energi indonesia. Secara umum, dapat disimpulkan bahwa pengembangan energi di indonesia masih berada pada tahap awal, yang membutuhkan pengembangan beberapa aspek, seperti teknologi, infrastruktur, kebijakan, dan sumber daya manusia untuk berkembang secara optimal menuju sistem energi yang lebih tangguh dan berkelanjutan. Saran untuk mengurangi perkembangan energi yang berkelanjutan di indonesia, perlu dilakukan langkah-langkah strategis secara solid dan berkelanjutan. Pertama, pemerintah harus memperkuat kebijakan energi nasional dengan regulasi yang lebih konsisten, transparan, dan ramah investor yang akan meningkatkan investasi di sektor energi yang sedang berkembang. Kedua, pengembangan infrastruktur kelistrikan seperti smart grid, sistem penyimpanan energi, dan modernisasi jaringan listrik harus diprioritaskan untuk memfasilitasi integrasi sumber energi yang fluktuatif.

Untuk memiliki sumber daya manusia yang kompeten dan inovatif, perlu meningkatkan kualitas sumber daya manusia melalui pendidikan, penelitian, dan riset di sektor energi. Keempat, peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi melalui pendidikan, sosialisasi, dan penerapan teknologi ramah lingkungan dalam kehidupan sehari-hari diperlukan. Penguatan kerja sama antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga akademis untuk mendorong inovasi teknologi, mengurangi biaya produksi energi, dan meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan nasional. Dengan adanya kebijakan-kebijakan di atas, indonesia memiliki peluang yang sangat baik untuk mempercepat transformasi sistem energi menuju sistem yang lebih tangguh, berkelanjutan, dan berstandar tinggi di masa depan.

Daftar Pustaka

- Airlangga, H. F. (2025). *TRANSFORMASI ENERGI DI INDONESIA: TANTANGAN DAN*. 5(November), 334–344. <https://doi.org/10.53026/sntem2025.v5i1.607>
- Astuti, D. F. (2025). *Penerapan teknologi hijau dalam arsitektur kampus: Studi kasus pembangunan gedung fakultas pada lingkungan tropis di malang*. 3, 1–6.
- Indria, N., & Zamza, K. (2025). *Peran sentral pemahaman pengembangan energi terbarukan kimia terhadap*. 3, 811–822.
- Jurnal, J., Teknik, I., Komputer, E., Maqdis, B., Suhada, F., & Pranata, A. (n.d.). *Analisis Dampak Penggunaan Energi Fosil Terhadap Kualitas Udara Dan Peluang Implementasi Energi Terbarukan Di*. x. <https://doi.org/10.51903/juritek.v5i2.4791>
- Lita Larashati, Nabila Anandita, Nida Fauzziyyah Hasanah, S. R. (2026). *PERAN SMART GRID DALAM EFISIENSI ENERGI LISTRIK DI INDONESIA*. 10(12). <https://doi.org/10.2238/x6eg1w88>
- Nabiel, D., Surya, B., & Zuroida, A. (2023). *Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Hybrid Genset-PV di Wilayah Pesisir Kabupaten Malang*. 10(1).
- Putra, R., Tarigan, A., Siagian, P., & Erivianto, D. (2025). *Penerapan Smart Grid pada Sistem Distribusi Listrik di Sumatera Utara : Analisis Efisiensi Energi, Keandalan Pasokan, dan Tantangan Implementasi Teknologi Modern di Era Transisi Energi*. 5, 864–872. <https://doi.org/10.61306/jnastek.v5i3.286>

- Rahmadani, P. A., Tohar, I., & Hakim, R. (2026). *Identifikasi Permasalahan Arsitektur Perpustakaan Umum Daerah Kabupaten Sidoarjo regulasi nasional . SNI 7495 : 2009 menetapkan standar untuk sarana dan prasarana*. April.
- Sarii, A. E. (2024). *Potensi energi terbarukan pengganti bahan bakar fosil*. 2(11), 1167–1176.
- Sianipar, R. J., Januar, R. R., David, S., & Silalahi, C. (n.d.). *Analisis Pemetaan Potensi dan Realisasi Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan Pemodelan Determinan Konsumsi dan Metode Grouping Analysis EBT di Indonesia*. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.22970>
- Solikhah, A. A. (2024). *Systematic Indonesia Literature Review Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di*. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21742>
- Teknik, I., Febrianti, N. A., Effendy, M., & Cahyadi, B. N. (2025). *Technical Feasibility Study and Design of 60 kWp On-Grid Solar Power Plant at Joint Lecture Building-5, University of Muhammadiyah Malang*. 15(1), 26–42. <https://doi.org/10.51747/energy.v15i1.1513>