

Analysis of Energy Transportation and Distribution in Indonesia

Suganda P Simanjuntak^{1*}, Rismen Sinambela², Leonard Lisapaly³

¹Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia

²Universitas Kristen Indonesia

³Universitas Kristen Indonesia

*Corresponding author: rendi.garut1971@gmail.com

Abstract

Energy transportation and distribution are crucial components in the national energy system, serving as the main link between energy sources and consumers. The efficiency of both systems is crucial to maintain the stability of energy supply and minimize energy loss during the distribution process. This study aims to explore the importance of energy transportation and distribution in the context of national energy security and the geographical and energy infrastructure challenges in Indonesia. Using a literature study method, this study collects and analyzes literature from various academic sources and relevant reports. The results show that an efficient energy transportation and distribution system plays a major role in reducing the energy gap between regions, expanding energy access to remote areas, and supporting sustainable economic development. In addition, Indonesia's geographical challenges as an archipelagic country, such as the distance between islands and population inequality, widen the energy infrastructure gap between the western and eastern regions. Investment in energy infrastructure development, especially in disadvantaged areas, and the integration of renewable energy are important steps in strengthening national energy security. This study concludes that in order to achieve better and more equitable energy security, inclusive and sustainable energy infrastructure development policies and strategies are needed.

Keywords: energy transportation, energy distribution, energy security, energy infrastructure, Indonesia, renewable energy, energy gap.

Abstrak

Transportasi dan distribusi energi memainkan peran penting dalam sistem energi nasional, menghubungkan sumber energi dengan konsumen. Efisiensi kedua sistem ini krusial untuk menjaga stabilitas pasokan energi dan mengurangi kehilangan energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi peran transportasi dan distribusi energi dalam mendukung ketahanan energi nasional, serta tantangan geografis dan infrastruktur energi di Indonesia. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi pustaka. Proses studi pustaka dilakukan dengan mengumpulkan literatur terkait, termasuk jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, dan artikel kebijakan yang relevan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk memahami efisiensi sistem distribusi energi, dampak tantangan geografis terhadap ketahanan energi, dan kondisi infrastruktur energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem transportasi dan distribusi energi yang efisien dapat mengurangi kesenjangan energi antarwilayah, memperluas akses energi ke daerah terpencil, dan mendukung pembangunan ekonomi berkelanjutan. Tantangan geografis Indonesia, sebagai negara kepulauan, memperbesar kesenjangan infrastruktur energi antara wilayah barat dan timur. Investasi dalam pengembangan infrastruktur energi, serta integrasi energi terbarukan, menjadi langkah penting dalam memperkuat ketahanan energi nasional. Penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk mencapai ketahanan energi yang lebih baik dan merata, diperlukan kebijakan dan strategi pembangunan infrastruktur energi yang inklusif dan berkelanjutan.

Kata kunci: transportasi energi, distribusi energi, ketahanan energi, infrastruktur energi, Indonesia, energi terbarukan, kesenjangan energi

1. Pendahuluan

Transportasi dan distribusi energi memainkan peran kunci dalam sistem energi nasional karena keduanya merupakan penghubung utama antara sumber energi dan konsumen akhir. Efisiensi transportasi

dan distribusi energi sangat penting untuk memastikan pasokan energi yang stabil dan andal, sekaligus meminimalkan kehilangan energi selama proses transportasi. Menurut [1], efisiensi yang lebih tinggi dalam sistem transportasi dan distribusi energi dapat

meningkatkan stabilitas pasokan energi, yang pada gilirannya berkontribusi terhadap produktivitas ekonomi dan kualitas hidup masyarakat. Dengan adanya sistem yang terstruktur dengan baik, transportasi dan distribusi energi dapat membantu mengurangi kesenjangan energi antara wilayah perkotaan dan pedesaan, yang merupakan salah satu tantangan utama dalam menyediakan akses energi yang merata di Indonesia. Hal ini penting untuk mendukung pembangunan ekonomi yang seimbang dan berkelanjutan di berbagai wilayah negara, khususnya daerah terpencil dan tertinggal [2][3] [4].

Sistem transportasi dan distribusi energi yang efektif tidak hanya memastikan ketersediaan energi yang memadai di berbagai sektor ekonomi, seperti industri, transportasi, dan perumahan, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap pengendalian biaya energi. Ketersediaan energi yang terjamin, bersama dengan biaya yang terjangkau, memungkinkan peningkatan daya saing nasional di pasar global [5]. Infrastruktur energi yang kuat, termasuk jaringan pipa, jalur distribusi, dan infrastruktur listrik, sangat penting untuk menjaga cadangan energi yang cukup. Selain itu, diversifikasi jalur pasokan energi memungkinkan negara untuk mengantisipasi dan menghadapi gangguan eksternal, seperti bencana alam, fluktuasi harga energi global, atau ketidakstabilan geopolitik. Misalnya, dalam menghadapi perubahan iklim dan tekanan geopolitik, integrasi sumber energi terbarukan ke dalam sistem energi nasional menjadi semakin penting. Teknologi seperti smart grids dan jaringan distribusi energi modern berperan besar dalam memfasilitasi transisi ke energi bersih dan terbarukan, sekaligus meningkatkan ketahanan energi nasional [6][3].

Dalam konteks Indonesia, upaya untuk mencapai ketahanan energi yang lebih baik sangat berkaitan dengan pengembangan sistem transportasi dan distribusi energi yang efisien. Sebagai negara dengan sumber daya energi yang

melimpah, Indonesia memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada impor energi dengan memanfaatkan sumber daya energi domestik secara lebih optimal. Salah satu langkah penting dalam mencapai kemandirian energi adalah melalui pemanfaatan energi terbarukan, seperti energi surya, angin, dan biomassa. Penerapan teknologi energi terbarukan dapat memberikan banyak manfaat, termasuk pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi energi. Menurut [7], penggunaan energi terbarukan di Indonesia juga dapat mendukung upaya mitigasi perubahan iklim sambil memperkuat ketahanan energi di berbagai wilayah, khususnya di daerah-daerah yang sebelumnya bergantung pada energi fosil.

Pengembangan infrastruktur transportasi yang baik juga memiliki kontribusi besar terhadap efisiensi distribusi energi. Distribusi yang efisien dapat menurunkan biaya dan meningkatkan aksesibilitas energi bagi masyarakat. [8]. menekankan bahwa dengan menggunakan teknologi informasi dan sistem manajemen yang canggih, pengelolaan distribusi energi di Indonesia dapat diperbaiki, sehingga mengurangi risiko gangguan pasokan energi yang disebabkan oleh fluktuasi pasar global. Sistem distribusi energi yang modern dan terintegrasi memungkinkan aliran energi yang lebih lancar dari pusat-pusat produksi energi ke daerah-daerah konsumsi, yang sangat penting dalam menjaga kontinuitas pasokan energi di seluruh negeri.

Namun, tantangan geografis yang dihadapi Indonesia sebagai negara kepulauan juga mempengaruhi pengembangan infrastruktur energi. Jarak yang jauh antar pulau dan populasi yang tersebar menciptakan hambatan besar dalam penyampaian energi yang efisien, terutama di daerah-daerah terpencil dan tertinggal. Meskipun demikian, kemajuan teknologi, seperti pengembangan microgrid dan sistem energi off-grid, menawarkan solusi potensial untuk mengatasi masalah akses energi di daerah terpencil. Sistem ini dapat memanfaatkan sumber energi terbarukan

lokal, seperti tenaga surya, angin, dan biomassa, untuk menyediakan listrik yang andal bagi komunitas yang terputus dari jaringan energi utama [3][9]. Di daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik nasional, penerapan sistem energi terbarukan hibrida (HRES) dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan pada generator diesel yang mahal dan berdampak buruk terhadap lingkungan [10].

berbasis diesel yang mahal dan tidak efisien [13].

Kesenjangan infrastruktur energi ini berkontribusi terhadap ketidaksetaraan ekonomi antar wilayah di Indonesia. Daerah-daerah yang kurang terlayani oleh infrastruktur energi yang memadai mengalami hambatan dalam mengakses energi yang stabil dan terjangkau, yang pada gilirannya menghambat pembangunan ekonomi di wilayah tersebut [14]. Oleh karena itu, investasi yang lebih besar dalam pengembangan infrastruktur energi, terutama di daerah-daerah yang tertinggal, sangat diperlukan untuk mengurangi kesenjangan ini. Pemerintah Indonesia perlu merumuskan kebijakan yang berfokus pada pembangunan infrastruktur yang inklusif, dengan memperhatikan kebutuhan energi di seluruh wilayah, untuk mencapai ketahanan energi yang lebih baik dan berkelanjutan di seluruh Indonesia [15][14].

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau dan memiliki distribusi populasi yang tidak merata semakin memperburuk tantangan dalam memastikan penyediaan energi yang merata di seluruh wilayah. Meskipun Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah, seperti gas alam dan batubara, banyak wilayah yang masih kesulitan untuk mendapatkan akses energi yang stabil dan terjangkau. Ketergantungan pada energi fosil yang tidak efisien dan biaya tinggi untuk transportasi energi ke daerah-daerah terpencil menjadi hambatan utama dalam meningkatkan ketahanan energi. Oleh karena itu, tantangan besar yang dihadapi Indonesia adalah menciptakan sistem distribusi energi yang dapat mengatasi kesenjangan antar wilayah, terutama di daerah-daerah yang belum terjangkau oleh infrastruktur energi yang memadai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi cara-cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi transportasi dan distribusi energi di Indonesia, serta memberikan rekomendasi kebijakan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil melalui



Gambar 1. Rencana pembangunan distribusi gas di Indonesia

Kondisi geografis Indonesia juga memperbesar kesenjangan dalam distribusi energi antara wilayah yang lebih maju dan wilayah yang tertinggal. Pulau Jawa, sebagai pusat ekonomi dan populasi terbesar di Indonesia, menikmati infrastruktur energi yang lebih baik dibandingkan dengan pulau-pulau lain seperti Kalimantan, Sumatra, dan Papua, yang cenderung memiliki populasi yang lebih jarang dan infrastruktur yang masih tertinggal [11]. Disparitas ini menciptakan ketidaksetaraan dalam akses energi, di mana banyak ladang gas alam dan batubara berada di luar Pulau Jawa, sementara permintaan energi terbesar terkonsentrasi di pulau tersebut. Infrastruktur energi di Indonesia, termasuk jaringan pipa, pelabuhan, jalur kereta, jalan raya, dan jaringan transmisi listrik, masih terbatas di banyak wilayah di luar Jawa dan Bali [12]. Keterbatasan ini menyebabkan banyak daerah, terutama di Indonesia bagian timur, seperti Papua dan Maluku, mengalami defisit energi listrik dan ketergantungan pada pembangkit listrik

integrasi energi terbarukan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mengenai pentingnya investasi di sektor infrastruktur energi guna menciptakan pemerataan akses energi yang dapat mendukung pembangunan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan di seluruh Indonesia.

Dengan demikian, tantangan geografis, disparitas infrastruktur, serta ketergantungan pada energi fosil masih menjadi isu utama yang harus diatasi dalam upaya memperkuat sistem energi nasional. Transformasi menuju energi terbarukan, pengembangan infrastruktur energi yang merata, serta peningkatan efisiensi dalam distribusi energi merupakan langkah-langkah penting yang perlu ditempuh untuk mencapai ketahanan energi di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi pustaka (*literature review*) yang mendalam untuk mengeksplorasi peran transportasi dan distribusi energi dalam sistem energi nasional Indonesia serta tantangan geografis dan kondisi infrastruktur energi di negara kepulauan ini. Metode studi pustaka ini dilakukan melalui beberapa tahap: pertama, peneliti mengidentifikasi dan mengumpulkan berbagai sumber literatur yang relevan, termasuk jurnal ilmiah, buku, laporan kebijakan, dokumen lembaga pemerintah dan swasta, serta artikel yang terkait dengan topik transportasi dan distribusi energi. Kedua, peneliti melakukan analisis terhadap konten yang terkandung dalam literatur yang telah dikumpulkan, dengan fokus pada isu-isu utama seperti efisiensi sistem distribusi energi, ketahanan energi, disparitas infrastruktur energi antara wilayah, serta tantangan geografis yang mempengaruhi distribusi energi di Indonesia. Ketiga, peneliti mensintesis informasi yang diperoleh dari berbagai sumber untuk menarik kesimpulan yang relevan mengenai langkah-langkah yang perlu diambil untuk meningkatkan sistem distribusi energi, termasuk integrasi energi

terbarukan dan pengembangan infrastruktur energi di wilayah yang tertinggal. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk memperoleh pemahaman yang mendalam tentang berbagai isu yang mempengaruhi pengembangan infrastruktur energi di Indonesia, serta untuk menganalisis solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi ketimpangan distribusi energi di seluruh wilayah. Diharapkan melalui penelitian ini, peneliti dapat memberikan rekomendasi kebijakan yang mendukung pembangunan infrastruktur energi yang inklusif, efisien, dan berkelanjutan dalam rangka memperkuat ketahanan energi nasional..

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis transportasi energi

Deskripsi Metode Transportasi Energi Fosil (Minyak, Gas, dan Batubara) di Indonesia

Transportasi energi fosil, seperti minyak, gas, dan batubara, di Indonesia melibatkan berbagai metode yang dirancang untuk menyesuaikan dengan karakteristik geografis dan kondisi infrastruktur. Beberapa metode utama yang digunakan meliputi:

Pipa

Salah satu metode yang paling efisien untuk transportasi minyak dan gas adalah melalui pipa. Pipa telah terbukti menjadi salah satu cara yang paling praktis dan biaya efektif untuk mengangkut minyak dan gas, dengan instalasi pipa yang meningkat secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir [16].

Jaringan pipa ini menghubungkan sumur-sumur produksi dengan kilang atau terminal pengapalan, memungkinkan distribusi yang lebih efisien dari sumber energi ke konsumen. Namun, meskipun pipa merupakan metode utama, infrastruktur pipa di Indonesia masih memiliki keterbatasan. Banyak daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan pipa, sehingga diperlukan metode transportasi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi di wilayah tersebut. Selain itu, penggunaan

pipa juga harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti keamanan dan pemeliharaan, mengingat risiko kebocoran dan kerusakan yang dapat terjadi. Di samping pipa, transportasi energi fosil juga dilakukan melalui jalur laut dan darat. Pengangkutan batubara, misalnya, seringkali dilakukan menggunakan kapal tongkang yang mengangkut batubara dari lokasi tambang ke pelabuhan untuk diekspor atau didistribusikan ke pembangkit listrik [17]. Penggunaan moda transportasi yang beragam ini penting untuk memastikan pasokan energi yang stabil dan efisien di seluruh Indonesia, terutama mengingat tantangan geografis yang dihadapi oleh negara kepulauan ini. Secara keseluruhan, pengembangan infrastruktur transportasi energi yang lebih baik dan terintegrasi sangat penting untuk mendukung ketahanan energi di Indonesia. Investasi dalam infrastruktur yang lebih baik akan membantu mengurangi ketergantungan pada energi impor dan meningkatkan aksesibilitas energi bagi masyarakat di seluruh wilayah, terutama di daerah yang kurang terlayani [18].



Gambar 2. Penyaluran Gas Melalui Pipa

Kapal Tanker

Kapal tanker merupakan sarana utama untuk transportasi minyak mentah dan produk turunannya, seperti bensin dan solar, serta gas alam cair (LNG) dan batubara di Indonesia. Kapal tanker digunakan untuk mengangkut minyak mentah dari ladang-ladang minyak yang

terletak di Kalimantan, Sumatra, dan daerah lepas pantai ke kilang atau pelabuhan di Jawa dan Bali. Proses ini sangat penting mengingat konsentrasi permintaan energi yang tinggi di pulau Jawa, sementara sumber daya energi sering kali terletak jauh dari pusat konsumsi. Transportasi LNG juga dilakukan menggunakan kapal khusus yang dirancang untuk mengangkut gas alam cair dari terminal LNG, seperti Bontang di Kalimantan, ke berbagai daerah tujuan domestik dan internasional. Kapal-kapal ini dilengkapi dengan teknologi canggih untuk menjaga suhu rendah yang diperlukan agar gas tetap dalam bentuk cair. Selain itu, transportasi batubara sebagian besar dilakukan melalui kapal tongkang dari pelabuhan batubara di Kalimantan ke pulau-pulau lain, termasuk Jawa, yang merupakan salah satu cara paling efisien untuk mendistribusikan batubara ke pembangkit listrik.

Secara keseluruhan, pengembangan infrastruktur transportasi yang lebih baik dan efisien sangat penting untuk memastikan kelancaran distribusi energi di seluruh Indonesia, terutama dalam menghadapi tantangan geografis yang kompleks dari negara kepulauan ini.



Gambar 3. Penyaluran gas melalui kapal tanker pertamina

Kereta Api

Transportasi batubara di Sumatra dan Kalimantan melibatkan penggunaan jalur kereta api, terutama di wilayah Sumatra Selatan yang kaya akan cadangan batubara. Jalur kereta api batubara ini

menghubungkan tambang-tambang batubara di pedalaman dengan pelabuhan ekspor atau pusat-pusat distribusi, sehingga memfasilitasi pengangkutan batubara secara efisien. Penggunaan kereta api sebagai moda transportasi membantu mengurangi ketergantungan pada transportasi jalan raya, yang sering kali lebih mahal dan kurang efisien untuk komoditas energi berat seperti batubara [19]. Keunggulan kereta api dalam hal kapasitas angkut yang besar dan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan truk menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk transportasi batubara dalam jarak jauh. Penelitian menunjukkan bahwa infrastruktur perkeretaapian yang baik dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi wilayah dan mendukung pengembangan sektor energi [19]. Selain itu, dengan memanfaatkan jalur kereta api, pengangkutan batubara dapat dilakukan dengan lebih cepat dan aman, mengurangi risiko kerusakan yang mungkin terjadi selama transportasi [19]. Namun, meskipun ada keuntungan yang signifikan dari penggunaan kereta api, tantangan tetap ada, termasuk kebutuhan untuk meningkatkan infrastruktur dan memastikan bahwa jalur kereta api dapat diakses dengan baik dari lokasi tambang hingga pelabuhan. Oleh karena itu, investasi dalam pengembangan infrastruktur perkeretaapian di wilayah-wilayah penghasil batubara sangat penting untuk mendukung kelancaran distribusi energi di Indonesia [19].



Gambar 4. Penyaluran energi melalui kereta api

Truk

Truk merupakan metode transportasi yang fleksibel dan sangat penting untuk

mendistribusikan minyak dan gas dalam bentuk produk jadi, seperti bensin, solar, dan LPG, dari depot-depot distribusi ke stasiun pengisian bahan bakar dan konsumen akhir. Di Indonesia, truk sering digunakan untuk distribusi lokal di wilayah perkotaan dan pedesaan, terutama di daerah yang tidak memiliki akses ke jaringan pipa atau depot minyak yang lebih besar [20]. Penggunaan truk memungkinkan pengangkutan yang lebih cepat dan responsif terhadap permintaan pasar, serta memberikan kemampuan untuk menjangkau konsumen akhir di lokasi-lokasi yang sulit dijangkau oleh moda transportasi lainnya.

Selain itu, truk juga sering digunakan untuk mengangkut batubara dari tambang ke pelabuhan lokal. Pengangkutan batubara menggunakan truk memberikan fleksibilitas dalam hal rute dan waktu pengiriman, yang sangat penting mengingat kebutuhan untuk memenuhi permintaan energi yang terus meningkat di dalam negeri dan untuk ekspor [21]. Meskipun truk menawarkan banyak keuntungan, tantangan seperti kemacetan lalu lintas dan kerusakan jalan dapat mempengaruhi efisiensi transportasi [22].



Gambar 5. Transportasi energi menggunakan truck

Analisis Efisiensi dan Tantangan yang Dihadapi dalam Transportasi Energi Fosil

Efisiensi Transportasi Energi Fosil

Pipa adalah metode paling efisien untuk mengangkut minyak dan gas alam dalam skala besar, terutama untuk jarak jauh dan kebutuhan yang kontinu. Sistem pipa

memungkinkan transportasi berkelanjutan tanpa gangguan, dan mengurangi ketergantungan pada transportasi laut yang lebih rentan terhadap cuaca dan kondisi laut [23]. Pipa juga memungkinkan pengangkutan yang lebih aman dan lebih murah dibandingkan dengan metode lain, terutama untuk pengiriman dalam jumlah besar [24].

Kapal tanker menawarkan fleksibilitas dalam transportasi lintas laut, terutama untuk mengangkut minyak mentah dan LNG dari ladang lepas pantai atau pulau-pulau besar ke daerah lain. Tanker memiliki kapasitas besar dan mampu mengangkut energi dalam jumlah yang sangat besar sekaligus, namun efisiensinya bergantung pada jarak dan kondisi laut [24]. Penggunaan kapal tanker juga memungkinkan pengangkutan energi ke lokasi yang tidak dapat dijangkau oleh infrastruktur darat [25].

Kereta api memberikan efisiensi untuk transportasi batubara, terutama di wilayah-wilayah yang memiliki jalur kereta api yang terhubung langsung ke pelabuhan atau pusat distribusi. Kereta api mampu mengangkut batubara dalam jumlah besar dengan biaya lebih rendah dibandingkan truk untuk jarak jauh [26]. Penggunaan kereta api juga mengurangi kemacetan di jalan raya dan mengurangi emisi karbon dibandingkan dengan transportasi darat lainnya [27].

Truk efisien untuk distribusi dalam skala kecil dan menengah di wilayah lokal. Truk menawarkan fleksibilitas untuk menjangkau area yang tidak dilayani oleh infrastruktur lainnya, namun lebih mahal dan memakan waktu untuk jarak jauh dan volume yang besar dibandingkan dengan metode lain seperti kereta atau kapal [28]. Meskipun demikian, truk tetap menjadi pilihan utama untuk pengiriman cepat dan responsif di daerah terpencil [29].

Tantangan yang Dihadapi dalam Transportasi Energi Fosil

Keterbatasan Infrastruktur: Jaringan pipa di Indonesia masih terbatas dan belum

mencakup seluruh wilayah, terutama di daerah terpencil dan kepulauan. Hal ini memaksa perusahaan energi menggunakan kapal atau truk untuk mengangkut energi, yang lebih mahal dan kurang efisien dibandingkan pipa. Kurangnya integrasi antara jaringan pipa yang ada juga menghambat efisiensi distribusi.

Geografi Kepulauan: Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan menciptakan tantangan besar dalam distribusi energi. Transportasi lintas pulau sering kali memerlukan kapal tanker yang mahal dan memakan waktu, terutama di wilayah-wilayah yang jauh dari pusat produksi energi seperti Jawa. Selain itu, kondisi cuaca buruk sering mempengaruhi operasional transportasi laut.

Risiko Keamanan dan Lingkungan: Transportasi energi fosil, terutama minyak dan gas alam, rentan terhadap risiko tumpahan dan kecelakaan, baik di laut maupun di darat. Tumpahan minyak dapat menimbulkan kerusakan lingkungan yang signifikan, dan kecelakaan kapal tanker atau pipa dapat mengganggu pasokan energi. Selain itu, jalur transportasi sering kali melewati area dengan tingkat risiko keamanan tinggi, seperti perairan rawan perompakan atau konflik lokal.

Biaya Tinggi: Transportasi energi fosil menggunakan kapal tanker, terutama untuk LNG, melibatkan biaya operasional yang tinggi, termasuk biaya penyimpanan, regasifikasi, dan pengangkutan. Hal ini meningkatkan harga energi di wilayah-wilayah yang jauh dari pusat produksi, yang pada akhirnya mempengaruhi harga bahan bakar dan energi untuk konsumen akhir.

Ketergantungan pada Cuaca: Kapal tanker, yang memainkan peran besar dalam transportasi energi di Indonesia, sangat rentan terhadap kondisi cuaca buruk seperti badai dan gelombang tinggi. Hal ini sering menyebabkan penundaan pengiriman dan gangguan pada pasokan energi, terutama selama musim-musim tertentu.

Dengan memahami dan mengatasi tantangan-tantangan ini, Indonesia dapat meningkatkan efisiensi transportasi energi

fosilnya dan memperkuat ketahanan energi nasional.

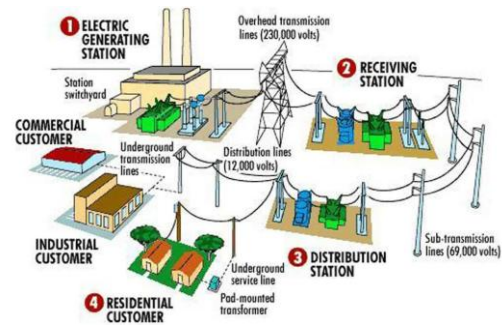
Analisis Distribusi Energi Sistem Distribusi Listrik di Indonesia

Sistem distribusi listrik di Indonesia merupakan suatu jaringan yang kompleks yang mencakup pembangkitan, transmisi, dan distribusi, di mana Perusahaan Listrik Negara (PLN) berperan sebagai operator utama. Proses pembangkitan listrik di Indonesia melibatkan berbagai sumber energi, termasuk batubara, gas, tenaga air, dan energi terbarukan seperti geotermal, surya, dan angin. Pembangkit listrik ini tersebar di seluruh nusantara dengan kapasitas yang bervariasi, tergantung pada kebutuhan daerah masing-masing [30][31]. Misalnya, penggunaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro di daerah terpencil menunjukkan potensi besar dalam menyediakan energi listrik di lokasi yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN [32].

Setelah listrik dihasilkan, tahap berikutnya adalah transmisi. Listrik yang dihasilkan dari pembangkit disalurkan melalui jaringan transmisi tegangan tinggi, yang berfungsi untuk mengangkut listrik dalam jumlah besar ke pusat-pusat beban yang lebih dekat dengan konsumen akhir. Jaringan transmisi ini biasanya menggunakan tegangan ekstra tinggi (500 kV) dan tegangan tinggi (150 kV) [33]. PLN memiliki sistem interkoneksi yang luas, seperti Sistem Jawa-Bali dan Sistem Sumatera, yang memungkinkan distribusi listrik secara efisien dari daerah yang kaya sumber energi ke daerah yang membutuhkan [34].

Setelah melewati jaringan transmisi, listrik diturunkan tegangannya melalui gardu induk sebelum dialirkan ke jaringan distribusi. Jaringan distribusi ini terdiri dari distribusi primer (tegangan menengah, 20 kV) dan distribusi sekunder (tegangan rendah, 220/380 V) [33]. Distribusi primer menghubungkan gardu induk ke gardu distribusi, sedangkan distribusi sekunder mengalirkan listrik dari gardu distribusi ke konsumen akhir, seperti rumah tangga dan

industri kecil. Namun, tantangan dalam menjaga keandalan distribusi listrik tetap ada, terutama di daerah terpencil dan pulau-pulau kecil, di mana infrastruktur sering kali kurang memadai [35]. Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah telah meluncurkan program elektrifikasi desa dan mempercepat pembangunan infrastruktur jaringan listrik [32].



Gambar 6. Distribusi listrik di Indonesia

PLN berusaha untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi listriknya. Salah satu pendekatan yang diambil adalah dengan menerapkan teknologi smart grid, yang dapat membantu dalam pengelolaan konsumsi listrik dan meningkatkan respons terhadap kebutuhan energi [34]. Selain itu, pemanfaatan energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), juga menjadi fokus untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan meningkatkan keberlanjutan sistem kelistrikan di Indonesia [36]. Indonesia menghadapi tantangan dalam menjaga keandalan distribusi listrik, terutama di daerah-daerah terpencil dan luar pulau. Untuk mengatasi hal ini, pemerintah telah meningkatkan program elektrifikasi desa serta mempercepat pembangunan infrastruktur jaringan listrik.

Peran Jaringan Gas Rumah Tangga (Jargas) dalam Distribusi Energi Gas Bumi

Jaringan Gas Rumah Tangga (Jargas) memainkan peran penting dalam distribusi energi gas bumi di Indonesia, dengan berbagai manfaat yang signifikan

bagi masyarakat dan perekonomian nasional. Pertama, Jargas menawarkan efisiensi energi dan pengurangan biaya. Dengan sistem pipa yang langsung mengalirkan gas bumi ke rumah tangga, Jargas mengurangi biaya distribusi yang biasanya terkait dengan penggunaan LPG dalam tabung, yang memerlukan transportasi dan penyimpanan tambahan [37]. Hal ini memungkinkan masyarakat untuk mendapatkan akses energi dengan harga yang lebih stabil dan kompetitif, yang pada gilirannya dapat meningkatkan daya beli dan kualitas hidup mereka [38].

Selanjutnya, Jargas berkontribusi pada keamanan pasokan energi. Dengan memanfaatkan gas bumi dari cadangan domestik, Jargas mengurangi ketergantungan Indonesia pada impor LPG, yang sering kali rentan terhadap fluktuasi harga dan pasokan global [37][38]. Keberadaan Jargas juga mendukung ketahanan energi nasional, karena pasokan gas bumi yang lebih terjamin dan stabil dapat membantu mengurangi risiko krisis energi di masa depan (Dwipayana, 2024).

Dari segi lingkungan, gas bumi merupakan sumber energi yang lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya seperti minyak dan batu bara. Penerapan Jargas di rumah tangga mendukung upaya pemerintah untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai target net-zero emission [39]. Dengan beralih ke gas bumi, emisi polutan yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan kualitas udara dan lingkungan [38]; Dwipayana, 2024).

Jargas juga berperan dalam pemerataan akses energi. Program Jargas yang dikembangkan oleh pemerintah ditujukan untuk menjangkau berbagai wilayah, terutama di daerah perkotaan dan sub-urban, serta untuk keluarga berpenghasilan rendah. Dengan menyediakan alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan penggunaan LPG, Jargas membantu meningkatkan akses energi bagi masyarakat yang sebelumnya sulit

dijangkau [37][39]. Selain itu, pembangunan Jargas berkontribusi terhadap infrastruktur energi nasional yang lebih luas, menciptakan peluang pertumbuhan ekonomi lokal melalui peningkatan infrastruktur [38]. Akhirnya, Jargas mendukung industri kecil dan menengah (IKM) yang memanfaatkan gas sebagai energi utama dalam proses produksi. Dengan menyediakan sumber energi yang lebih murah dan efisien, Jargas dapat membantu IKM untuk meningkatkan produktivitas dan daya saing mereka di pasar (Dwipayana, 2024; [39]. Oleh karena itu, pengembangan Jargas bukan hanya sekadar infrastruktur energi, tetapi juga merupakan langkah strategis dalam memperkuat perekonomian lokal dan nasional.

Studi kasus

Proyek: Jaringan Pipa Gas Trans Sumatra (Trans Sumatra Gas Pipeline)

Jaringan Pipa Gas Trans Sumatra (TSGP) merupakan proyek distribusi energi yang signifikan di Indonesia, dirancang untuk menghubungkan sumber gas bumi di Sumatra dengan pasar energi di Sumatra dan Jawa. Proyek ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas pasokan energi dengan mengalirkan gas bumi dari wilayah penghasil seperti Aceh, Sumatra Utara, Riau, hingga Lampung, serta menghubungkan jalur pipa gas yang sudah ada [40]. Dengan infrastruktur ini, pemerintah berupaya memperkuat ketahanan energi nasional dan memanfaatkan sumber energi domestik, terutama gas bumi, yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya.

Salah satu keuntungan utama dari TSGP adalah efisiensi energi dan pengurangan biaya. Dengan mengalirkan gas bumi melalui pipa, TSGP mengurangi biaya distribusi yang biasanya terkait dengan penggunaan LPG dalam tabung, yang memerlukan transportasi dan penyimpanan tambahan. Hal ini memungkinkan masyarakat untuk mendapatkan akses energi dengan harga

yang lebih stabil dan kompetitif, yang penting untuk meningkatkan daya beli dan kualitas hidup mereka [41]. Selain itu, proyek ini juga berkontribusi pada keamanan pasokan energi, mengurangi ketergantungan pada impor LPG dan memastikan pasokan yang lebih terjamin dari sumber domestik [42]. Dari perspektif lingkungan, gas bumi sebagai sumber energi lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya, sehingga penerapan TSGP mendukung upaya pemerintah untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai target net-zero emission [43].



Gambar 7. Jaringan pipa gas trans sumatra

Dengan memanfaatkan gas bumi, emisi polutan yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan kualitas udara dan lingkungan. Pembangunan TSGP juga berkontribusi terhadap pemerataan akses energi di Indonesia. Dengan memperluas jaringan distribusi gas bumi, proyek ini bertujuan untuk menyediakan akses energi yang lebih merata, termasuk untuk keluarga berpenghasilan rendah di daerah perkotaan dan sub-urban [44]. Selain itu, proyek ini menciptakan peluang pertumbuhan ekonomi lokal melalui infrastruktur yang lebih baik, yang dapat mendukung industri kecil dan menengah (IKM) yang memanfaatkan gas sebagai energi utama dalam proses produksi [45]. Secara keseluruhan, Jaringan Pipa Gas Trans Sumatra (TSGP) bukan hanya sekadar infrastruktur energi, tetapi juga merupakan langkah strategis dalam memperkuat

perekonomian lokal dan nasional, serta mendukung keberlanjutan lingkungan di Indonesia [46].

Analisis Keberhasilan, Tantangan, dan Dampak Proyek

Jaringan Pipa Gas Trans Sumatra (TSGP) telah memberikan dampak yang signifikan terhadap penguatan infrastruktur energi di Sumatra dan Jawa. Proyek ini berhasil meningkatkan pasokan gas bumi ke berbagai sektor, termasuk industri, pembangkit listrik, dan rumah tangga. Salah satu keberhasilannya adalah mendukung pengurangan ketergantungan pada impor bahan bakar fosil seperti minyak dan LPG, serta memberikan sumber energi yang lebih bersih dan terjangkau bagi sektor-sektor penting [47]. Dengan mengalirkan gas bumi dari wilayah-wilayah penghasil seperti Aceh, Sumatra Utara, Riau, hingga Lampung, TSGP menciptakan sinergi antara wilayah penghasil energi dengan wilayah yang membutuhkan energi, sehingga meningkatkan efisiensi distribusi gas bumi di dalam negeri [48].

Dari segi dampak, TSGP telah membantu meningkatkan ketahanan energi nasional dengan memastikan pasokan gas bumi yang stabil dan berkelanjutan, terutama untuk pembangkit listrik. Hal ini berdampak langsung pada stabilitas pasokan listrik di wilayah Jawa dan Sumatra, yang merupakan pusat aktivitas ekonomi dan industri di Indonesia [49] [50]. Selain itu, proyek ini juga memberikan dampak positif terhadap pengurangan emisi karbon, mengingat gas bumi merupakan bahan bakar yang lebih bersih dibandingkan batu bara dan minyak [51].

Namun, meskipun proyek TSGP menunjukkan keberhasilan, ada beberapa tantangan yang dihadapi dalam pelaksanaannya. Salah satu tantangan utama adalah kendala geografis yang kompleks, seperti medan yang sulit di wilayah Sumatra, yang memerlukan upaya ekstra dalam hal konstruksi pipa dan pemeliharaan infrastruktur [52]. Selain itu, pendanaan juga menjadi isu penting, karena proyek infrastruktur energi seperti TSGP

membutuhkan investasi yang besar dan jangka panjang. Mengamankan pendanaan yang berkelanjutan, baik dari pemerintah maupun sektor swasta, menjadi salah satu tantangan utama dalam memastikan kelancaran pembangunan dan operasi jangka panjang [53].

Tantangan lainnya adalah regulasi dan perizinan, di mana proyek besar seperti TSGP harus melewati proses birokrasi yang panjang dan melibatkan berbagai pihak, termasuk pemerintah daerah dan masyarakat setempat. Ini seringkali menyebabkan keterlambatan dalam penyelesaian proyek [42]. Masalah lain yang dihadapi adalah keterbatasan teknologi dan kemampuan domestik dalam hal pengelolaan dan pemeliharaan infrastruktur gas, yang kadang masih memerlukan dukungan teknologi dan keahlian asing [54].

Secara keseluruhan, TSGP berkontribusi signifikan terhadap pemerataan akses energi dan penguatan infrastruktur energi di Indonesia, meskipun masih menghadapi beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk mencapai potensi maksimal dalam mendukung ketahanan energi nasional [55].

Rekomendasi

Rekomendasi untuk Meningkatkan Efisiensi dan Keandalan Transportasi dan Distribusi Energi di Indonesia

Pengembangan infrastruktur energi di Indonesia, terutama dalam konteks jaringan pipa gas dan transmisi listrik, sangat penting untuk meningkatkan akses energi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar impor. Membangun dan memperluas jaringan pipa gas ke daerah terpencil dan wilayah strategis dapat memberikan akses yang lebih baik bagi masyarakat terhadap energi yang lebih bersih dan terjangkau. Proyek seperti Jaringan Pipa Gas Trans Sumatra (TSGP) menunjukkan bagaimana infrastruktur ini dapat menghubungkan sumber gas domestik dengan pasar energi, sehingga meningkatkan efisiensi distribusi gas bumi di dalam negeri [47]. Selain itu,

pengembangan jaringan transmisi listrik yang lebih luas juga diperlukan untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan, terutama di wilayah yang belum terjangkau (Annuru, 2024).

Pemeliharaan proaktif juga menjadi aspek penting dalam menjaga keandalan jaringan distribusi energi. Menerapkan strategi pemeliharaan prediktif berbasis data dapat membantu mencegah gangguan pada jaringan distribusi. Dengan menggunakan teknologi seperti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), PLN dapat memantau kondisi jaringan secara real-time dan melakukan tindakan preventif untuk menghindari kerusakan (Annuru, 2024; Usman et al., 2022). Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa pasokan energi tetap terjaga, terutama di daerah-daerah yang memiliki tantangan geografis dan infrastruktur yang kompleks (Nugroho et al., 2016).

Diversifikasi sumber energi juga merupakan langkah strategis yang perlu didorong. Mendorong penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin yang terintegrasi dengan jaringan utama dapat mendukung keberlanjutan dan efisiensi sistem energi nasional. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi pembangkit listrik terdistribusi, seperti turbin angin, dapat meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Putra et al., 2023). Selain itu, penggunaan teknologi mikrogrid dapat membantu mengoptimalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan dan meningkatkan ketahanan energi di tingkat lokal (Giyatno et al., 2021).

Optimalisasi logistik energi juga menjadi kunci dalam meningkatkan manajemen rantai pasokan energi. Dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI), PLN dapat memantau distribusi energi secara real-time, mengurangi kebocoran, dan meningkatkan keandalan sistem (Prawiyogi & Anwar, 2023; Fitriani, 2023). Penerapan teknologi ini tidak hanya meningkatkan

efisiensi operasional, tetapi juga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik terkait pengelolaan sumber daya energi (Samsinar & Wiyono, 2019). Dengan demikian, langkah-langkah ini dapat membantu Indonesia mencapai tujuan ketahanan energi dan keberlanjutan yang lebih baik.

Diskusi Penggunaan Teknologi Baru dan Kebijakan Pendukung:

Penerapan teknologi smart grid di Indonesia merupakan langkah penting untuk meningkatkan efisiensi pemantauan dan pengelolaan jaringan listrik. Smart grid memanfaatkan integrasi teknologi informasi dan komunikasi (ICT) dalam sistem kelistrikan, yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian pasokan energi secara real-time. Dengan penggunaan sensor cerdas dan meter pintar, sistem ini dapat mengidentifikasi masalah lebih cepat, menyeimbangkan permintaan dan pasokan energi, serta mengurangi potensi pemadaman listrik. Salah satu manfaat utama smart grid adalah kemampuannya untuk mengoptimalkan distribusi energi, mengurangi pemborosan, dan memperbaiki kualitas layanan. Selain itu, teknologi ini dapat mendukung transisi menuju energi terbarukan dengan memfasilitasi integrasi sumber energi terbarukan yang bersifat intermittent, seperti tenaga surya dan angin, ke dalam grid yang ada. Sebagai contoh, smart grid dapat membantu menyeimbangkan fluktuasi produksi energi terbarukan dengan permintaan energi secara dinamis, memastikan pasokan yang lebih stabil dan berkelanjutan (Prawiyogi & Anwar, 2023).

Selain itu, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) dalam sistem pemantauan dan distribusi energi juga sangat berpotensi meningkatkan efisiensi dan keamanan operasional. Teknologi IoT memungkinkan pemantauan infrastruktur energi secara real-time, sehingga masalah seperti kebocoran gas atau kerusakan pipa dapat dideteksi lebih awal, sebelum berkembang menjadi bencana.

Sensor yang terhubung dengan IoT juga dapat memantau kondisi jaringan listrik, memberikan data yang akurat untuk memprediksi potensi kerusakan dan kebutuhan pemeliharaan. Di sisi lain, AI dapat digunakan untuk menganalisis data besar dari sensor-sensor tersebut, serta mengoptimalkan pengaturan distribusi energi berdasarkan kebutuhan konsumen yang lebih dinamis. Dengan teknologi ini, sistem distribusi energi menjadi lebih otomatis, aman, dan terkelola dengan baik, mengurangi risiko kegagalan dan meningkatkan efisiensi operasional (Prawiyogi & Anwar, 2023).

Pemerintah Indonesia juga perlu mempercepat pengembangan kebijakan energi terbarukan untuk mendorong transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Kebijakan yang mendukung investasi dalam energi terbarukan, seperti energi surya, angin, dan biomassa, serta memberikan insentif bagi perusahaan yang mengembangkan teknologi energi bersih, sangat penting untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang semakin menipis. Subsidi untuk energi bersih dan pembiayaan hijau dapat meningkatkan adopsi energi terbarukan oleh masyarakat dan industri, serta mendukung Indonesia untuk memenuhi target pengurangan emisi karbon sesuai dengan komitmen internasional. Kebijakan seperti feed-in tariff dan power purchase agreements (PPA) yang menarik juga dapat mempercepat pembangkit energi terbarukan yang ramah lingkungan (Cakranegara, 2021).

Selain itu, untuk mempercepat pembangunan infrastruktur energi yang berkelanjutan, Indonesia perlu menciptakan regulasi yang lebih fleksibel dan menarik bagi investor asing. Banyaknya proyek infrastruktur energi yang membutuhkan pendanaan besar memerlukan kerjasama internasional dan investasi asing yang substansial. Regulasi yang lebih ramah investasi, seperti kemudahan dalam perizinan, pengurangan hambatan birokrasi, serta insentif fiskal dan pajak, akan menarik

lebih banyak investasi asing untuk mempercepat pembangunan infrastruktur energi di Indonesia. Dengan memfasilitasi kemitraan publik-swasta dan membuka peluang investasi dalam teknologi energi baru, Indonesia dapat memperkuat fondasi infrastruktur energi yang berkelanjutan dan lebih merata (Azizah, 2024).

Secara keseluruhan, penerapan smart grid, IoT, AI, kebijakan energi terbarukan, serta regulasi yang mendukung investasi asing merupakan langkah-langkah strategis yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi Indonesia. Integrasi teknologi canggih dan dukungan kebijakan yang progresif akan menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan, efisien, dan berkeadilan, serta mendorong Indonesia untuk mencapai ketahanan energi yang lebih baik di masa depan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyoroti pentingnya penguatan infrastruktur distribusi energi dalam meningkatkan ketahanan energi nasional Indonesia. Hasil utama penelitian menunjukkan bahwa proyek jaringan pipa gas Trans Sumatra-Jawa berhasil meningkatkan ketersediaan energi gas bumi di wilayah-wilayah strategis, terutama untuk industri dan pembangkit listrik, serta mengurangi ketergantungan pada energi impor. Namun, tantangan geografis yang sulit, pendanaan besar, dan proses perizinan yang rumit menjadi hambatan dalam pelaksanaan proyek ini. Keberhasilan proyek tersebut menunjukkan bahwa efisiensi distribusi energi dapat ditingkatkan, meskipun masalah infrastruktur dan regulasi perlu diselesaikan untuk mencapai sistem yang lebih stabil dan efisien. Untuk masa depan, penelitian ini merekomendasikan penerapan teknologi canggih seperti smart grid dan Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan manajemen distribusi energi dan meningkatkan deteksi masalah. Selain itu, diversifikasi ke sumber energi terbarukan dan kebijakan yang mendukung investasi pada sektor energi bersih harus dipercepat.

Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan investor asing sangat diperlukan untuk menciptakan regulasi yang lebih fleksibel dan menarik, serta mempercepat pembangunan infrastruktur energi yang berkelanjutan. Dengan langkah-langkah tersebut, Indonesia dapat mencapai sistem energi yang lebih stabil, efisien, dan berkelanjutan untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan ketahanan energi nasional.

Referensi

- [1] B. V. Mathiesen *et al.*, “Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions,” *Applied Energy*. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.075.
- [2] G. L. Park, A. I. Schäfer, and B. S. Richards, “Renewable energy powered membrane technology: The effect of wind speed fluctuations on the performance of a wind-powered membrane system for brackish water desalination,” *J. Memb. Sci.*, 2011, doi: 10.1016/j.memsci.2010.12.003.
- [3] I. Sulaeman *et al.*, “Remote microgrids for energy access in indonesia—part i: Scaling and sustainability challenges and a technology outlook,” *Energies*, 2021, doi: 10.3390/en14206643.
- [4] A. B. Setyowati, “Mitigating energy poverty: Mobilizing climate finance to manage the energy trilemma in Indonesia,” *Sustain.*, 2020, doi: 10.3390/su12041603.
- [5] L. A. Richards, B. S. Richards, and A. I. Schäfer, “Renewable energy powered membrane technology: Salt and inorganic contaminant removal by nanofiltration/reverse osmosis,” *J. Memb. Sci.*, 2011, doi: 10.1016/j.memsci.2010.11.069.
- [6] S. Mandelli, J. Barbieri, R. Mereu, and E. Colombo, “Off-grid systems for rural electrification in developing countries: Definitions, classification and a comprehensive literature

- review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.338.
- [7] M. Dede, H. Susiati, M. A. Widiawaty, L. Kuok-Choy, K. Aiyub, and N. H. Asnawi, “Multivariate analysis and modeling of shoreline changes using geospatial data,” *Geocarto Int.*, 2023, doi: 10.1080/10106049.2022.2159070.
- [8] Cahya Purnomo, Vivid Dekanawati, N. Astriawati, Sumardi, and Ganda Syahputra, “Analisis Simulasi Distribusi Logistik Menggunakan Metode Transportasi,” *Saintara J. Ilm. Ilmu-Ilmu Marit.*, 2022, doi: 10.52475/saintara.v6i2.161.
- [9] N. F. A. M. Fadzli, A. M. Azmi, N. Y. Dahlan, Z. A. M. Ismail, and S. Sukumaran, “An Analysis of Hybrid Renewable Energy System Using HOMER Pro: A Case Study in Sungai Tiang Camp, Perak,” *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, 2023, doi: 10.37934/araset.31.3.7992.
- [10] P. Marocco *et al.*, “A study of the techno-economic feasibility of H₂-based energy storage systems in remote areas,” *Energy Convers. Manag.*, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.112768.
- [11] K. Kim, “Analysing Indonesia’s infrastructure deficits from a developmentalist perspective,” *Compet. Chang.*, 2023, doi: 10.1177/10245294211043355.
- [12] A. Borrmann, T. H. Kolbe, A. Donaubauer, H. Steuer, J. R. Jubierre, and M. Flurl, “Multi-Scale Geometric-Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications,” *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, 2015, doi: 10.1111/mice.12090.
- [13] hartanto hartanto, “The Political Economy of Energy Alteration in Indonesia: The Role of Coal and Mineral in New and Renewable Energy Alteration,” *J. Int. Stud. Energy Aff.*, 2021, doi: 10.51413/jisea.vol2.iss2.2021.148-164.
- [14] A. Makmuri, “Infrastructure and inequality: An empirical evidence from Indonesia,” *Econ. J. Emerg. Mark.*, 2017, doi: 10.20885/ejem.vol9.iss1.art4.
- [15] M. A. Berawi, “Accelerating sustainable infrastructure development: Assuring well-being and ensuring environmental sustainability,” *Int. J. Technol.*, 2016, doi: 10.14716/ijtech.v7i4.3829.
- [16] G. D. Haryadi, R. Ismail, and M. Haira, “Pengaruh Post Weld Heat Treatment (Pwht) dengan Pemanas Induksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las Shield Metal Arc Welding (Smaw) pada Pipa API 5l X52,” *ROTASI*, 2017, doi: 10.14710/rotasi.19.3.117-124.
- [17] M. F. Mahmud, A. Ismayana, and M. Yani, “Life cycle assessment proses pengadaan bahan baku batubara pembangkit listrik tenaga uap Tidore,” *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, 2022, doi: 10.30556/jtmb.vol18.no1.2022.1243.
- [18] A. S. R. Adi Setiawan Rauf, S. W. Sri Widodo, and A. N. Alfian Nawir, “Peningkatan Nilai Kalori Pada Batubara Lignit Dengan Metode Aglomerasi Air Dan Minyak Sawit Pada Pt. Indonesia Power Ujp Pltu Barru,” *J. Geomine*, 2018, doi: 10.33536/jg.v6i3.243.
- [19] H. Dwiatmoko, “Peran Infrastruktur Perkeretaapian bagi Pertumbuhan Ekonomi Wilayah,” *J. Manaj. Aset Infrastruktur Fasilitas*, 2019, doi: 10.12962/j26151847.v3i2.5883.
- [20] H. Budya and M. Yasir Arofah, “Providing cleaner energy access in Indonesia through the megaproject of kerosene conversion to LPG,” *Energy Policy*, 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2011.02.061.
- [21] H. Wahyudi, “Peramalan Konsumsi Dan Produksi Minyak Menggunakan

- Model Arima Di Indonesia,” *J. Ekon. Pembang.*, 2023, doi: 10.23960/jep.v12i1.1090.
- [22] R. K. Andadari, P. Mulder, and P. Rietveld, “Energy poverty reduction by fuel switching. Impact evaluation of the LPG conversion program in Indonesia,” *Energy Policy*, 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2013.11.021.
- [23] G. Dubov, D. Trukhmanov, I. Kuznetsov, S. Nokhrin, and A. Sergel, “Prospects for the Use of Liquefied Natural Gas as a Motor Fuel for Haul Trucks,” 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201910503018.
- [24] E. Purwendah, “Precautionary Principle Through the Obligations of Marine Insurance for Oil Tankers in the Indonesian Legal System,” 2019, doi: 10.4108/eai.10-9-2019.2289415.
- [25] B. D. Blair, J. Hughes, W. B. Allshouse, L. M. McKenzie, and J. L. Adgate, “Truck and multivehicle truck accidents with injuries near colorado oil and gas operations,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, doi: 10.3390/ijerph15091861.
- [26] N. N. Clark *et al.*, “Pump-to-wheels methane emissions from the heavy-duty transportation sector,” *Environ. Sci. Technol.*, 2017, doi: 10.1021/acs.est.5b06059.
- [27] N. Mou, Y. Xie, T. Yang, H. Zhang, and Y. R. Kim, “The impact of slumping oil price on the situation of tanker shipping along the maritime silk road,” *Sustain.*, 2019, doi: 10.3390/su11174796.
- [28] I. V. Kuznetsov, I. A. Panachev, G. M. Dubov, and S. A. Nohrin, “Energy Evaluation Of The Operation Of Gas And Diesel Dump Trucks Belaz-75131 On The Cuts Of Kuzbass,” *Sprav. Inzhenernyi zhurnal*, 2019, doi: 10.14489/hb.2019.04.pp.019-023.
- [29] K.-G. Lim and M. Lim, “Financial performance of shipping firms that increase LNG carriers and the support of eco-innovation,” *J. Shipp. Trade*, 2020, doi: 10.1186/s41072-020-00080-0.
- [30] D. Sulaiman, W. Romadhoni, and P. Purnama, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro Pada Anak Sungai di Bulungan,” *J. Kumparan Fis.*, 2021, doi: 10.33369/jkf.4.1.61-66.
- [31] M. Jahja, Y. I. Arifin, A. M. N. Fitra Syamsul, and F. P. Mobiliu, “An approach to sustain micro-hydro power plants (MHPP) operation in the rural areas: a case study in South Dulamayo village of Gorontalo Regency, Indonesia,” 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1003/1/012033.
- [32] A. R. Hardyan *et al.*, “Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai Sumber Penerangan di Dusun Tanggung, Pesawaran, Lampung,” *J. Pengabd. Pada Masy.*, 2023, doi: 10.30653/jppm.v9i1.680.
- [33] S. Syukri, T. M. Asyadi, M. Muliadi, and F. Moesnadi, “Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.14500.
- [34] A. N. Pramudhita and P. A. N. Mawangi, “Smart Grid Untuk Efisiensi Konsumsi Listrik Pada Proses Produksi Di Industri Manufaktur,” *Matics*, 2021, doi: 10.18860/mat.v13i1.11566.
- [35] S. Sunardi, R. Budiman, and W. Gunawan, “Perancangan Modul Pemantau Tegangan, Arus, dan Daya Listrik Tiga Fasa Chiller Room Via Data Logger Transcend MicroSD Gedung The Tower Jakarta,” *Epic J. Electr. Power Instrum. Control*, 2023, doi: 10.32493/epic.v6i1.29730.
- [36] R. S. Hadikusuma, V. W. Mahyastuty, M. Siregar, and L. Hardine, “Pengaruh Delay Pada Modul Wifi 802.11b/G/N Esp 32 Di Rentang Frekuensi 2.4 Ghz Terhadap Smart Control Solar Home System,”

- Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.4.149-155.
- [37] A. P. C. Tampubolon and B. F. T. Kiono, "Overview Perkembangan Pemanfaatan Energi Primer Gas Bumi Di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.10049.
- [38] Risca Dwi Anggini, Teguh Hadi Priyono, Riniati, and M. Fathorrazi, "Dampak Investasi Infrastruktur Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Pulau Jawa," *JAE (JURNAL Akunt. DAN Ekon.*, 2022, doi: 10.29407/jae.v7i3.18744.
- [39] A. G. Muhammad, R. Fauzi, A. J. Karunianto, W. Cakrabuana, and W. Widodo, "Karakterisasi Hidrogeologi Daerah Sekitar Tapak PLTN di Bengkayang, Kalimantan Barat," *EKSPLORIUM*, 2021, doi: 10.17146/eksplorium.2021.42.2.647-9.
- [40] I. Istiqomah, "Identifikasi Tahapan dan Biaya Proyek Pembangunan Jaringan Gas Menggunakan Metode Life Cycle Costing," *Revenue Lentera Bisnis Manaj.*, 2023, doi: 10.59422/lbm.v1i02.53.
- [41] Y. Budisusanto, K. Khomsin, and M. N. Cahyadi, "Survei dan Pemetaan Untuk Perencanaan Jaringan Gas Bumi Bagi Rumah Tangga Menggunakan Metode Terrestrial dan Fotogrametri Jarak Dekat," *IPTEK J. Proc. Ser.*, 2018, doi: 10.12962/j23546026.y2018i1.3351.
- [42] S. Sulardi, "Pelindung Pipa Gas Bawah Tanah Jalan Dengan Metode U-Ducting Reinforced Concrete," *JST (Jurnal Sains Ter.*, 2018, doi: 10.32487/jst.v4i1.451.
- [43] R. R. Djunaedi Junyar, Lili Somantri, and Iwan Setiawan, "Penggunaan Metode Multiple Ring Buffer Untuk Pemodelan Spasial Area Terdampak Ledakan Jaringan Pipa Minyak Dan Gas Di Kecamatan Kedokanbunder Kabupaten Indramayu," *J. Geogr. Edukasi dan Lingkung.*, 2020, doi: 10.29405/jgel.v4i2.5119.
- [44] A. Firmansyah and S. I. Baskoro, "Akuntansi Hak Konsesi sebagai Aset Tak Berwujud pada Perusahaan Penyedia Jasa Jalan Tol di Indonesia," *Stud. Akunt. dan Keuang. Indones.*, 2020, doi: 10.21632/saki.3.2.233-264.
- [45] N. Nurmalia, "Electromagnetic Acoustic Transducer (EMAT) sebagai Transduser Ultrasonik untuk Nondestructive Testing (NDT): Ulasan Artikel," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 2021, doi: 10.5614/joki.2020.13.1.1.
- [46] A. Aditsania and I. Kurniawan, "Implementasi Newton Raphson Termodifikasi pada Prediksi Distribusi Tekanan Pipa Transmisi Gas Alam," *Indones. J. Comput.*, 2016, doi: 10.21108/indojc.2016.1.2.53.
- [47] M. Idris, "Optimasi Perancangan Pipa Transmisi Gas untuk Pembangkit PLTGU:," *Energi & Kelistrikan*, 2022, doi: 10.33322/energi.v14i1.1689.
- [48] F. Ferdinand and M. Pamadi, "Perbandingan Biaya Pembangunan Rumah: SNI 2008, AHSP 2022 atau Perhitungan Kontraktor?," *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, 2023, doi: 10.38043/telsinas.v6i2.4627.
- [49] B. J. Lekatompessy, A. Suroso, and M. Amin, "Pengaruh Hydraulic Engineering Software Terhadap Kinerja Waktu Pekerjaan Desain Jaringan Perpipaan Air Limbah Skala Kota," *Konstruksia*, 2022, doi: 10.24853/jk.13.2.93-101.
- [50] S. Hansen, "Investigasi Perencanaan Pembangunan Infrastruktur," *Reksabumi*, 2022, doi: 10.33830/reksabumi.v1i2.2042.202.
- [51] D.- Willar and D. D. G. Pangemanan, "Hambatan Signifikan Implementasi Sistem Manajemen Mutu Pelaksana Konstruksi," *TEKNIK*, 2020, doi:

- 10.14710/teknik.v0i0.27252.
- [52] M. Martaningtyas and H. D. Ariesyady, "Identifikasi Bahaya Dan Analisis Risiko Pada Jaringan Pipa Transmisi Crude Oil Di Perusahaan Migas," *J. Tek. Lingkung.*, 2018, doi: 10.5614/j.tl.2018.24.2.1.
- [53] S. Siswantoro, "Analisis Tingkat Kesiapan Anggaran dan Pembiayaan Indonesia dalam Memindahkan Ibu Kota Negara: Studi Kepustakaan," *J. Stud. Kebijak. Publik*, 2022, doi: 10.21787/jskp.1.2022.27-41.
- [54] S. Suharyadi and Y. T. Nurteisa, "Teknologi Pesawat Tanpa Awak untuk Pemetaan Skala Detail Rencana Jaringan Pipa Sanitasi Komunal bagi Masyarakat Dusun Kepek 1, Kepek, Wonosari, Gunungkidul," *J. Pengabd. Kpd. Masy. (Indonesian J. Community Engag.*, 2017, doi: 10.22146/jpkm.22081.
- [55] A. Zamzamy, D. Helard, and B. Hidayat, "Penilaian Indeks Kerentanan Infrastruktur Sanitasi Kota Padang dalam Menghadapi Skenario Bencana Gempa dan Tsunami," *CIVED*, 2023, doi: 10.24036/cived.v10i1.120973.