

Analisis Peran Kebijakan Pembangunan PLTN Di Indonesia Dalam Meningkatkan Efisiensi Energi

Tri Hastuti ^{1, *)}, Mudjiono ²⁾ dan Aditya Wisnu Pradana ³⁾

Badan Riset dan Inovasi Nasional

*) Corresponding author: trih009@brin.go.id
mudj002@brin.go.id
adit018@brin.go.id

Abstract

The clean energy crisis has been felt in Indonesia, so it is necessary to have policies to improve fossil energy efficiency to improve sustainable energy management and pay attention to environmental aspects. The Indonesian government has established a policy of phasing out the use of fossil energy, so that to increase the efficiency of fossil energy use, low-carbon energy is needed. Nuclear Power Plants (NPP) are a technology that can produce clean electrical energy. This study aims to analyze the role of nuclear power plant development policies in Indonesia in improving fossil energy efficiency as an effort to reduce carbon emissions. The method of this research is to use a qualitative method with a descriptive approach. Secondary data analysis from various literature that is appropriate to the research topic to draw conclusions. The results of the study show that energy efficiency in power plants with fossil fuels has been carried out in Indonesia through a policy of phasing out coal-fired power plants. However, fossil energy efficiency still needs to be improved. Nuclear power plant development policies in Indonesia have an important role in improving the efficiency of fossil energy towards low-carbon energy.

Abstrak

Krisis energi bersih telah dirasakan di Indonesia, sehingga perlu kebijakan peningkatan efisiensi energi fosil untuk meningkatkan pengelolaan energi yang keberlanjutan dan memperhatikan aspek lingkungan. Pemerintah Indonesia telah menetapkan kebijakan penghapusan secara bertahap penggunaan energi fosil, sehingga untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi fosil diperlukan energi rendah karbon. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan teknologi yang dapat menghasilkan energi listrik yang bersih. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia dalam meningkatkan efisiensi energi fosil sebagai upaya mengurangi emisi karbon. Metode penelitian ini yaitu menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Analisis data sekunder dari berbagai literatur yang sesuai dengan topik penelitian untuk menarik kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi energi pada pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil telah dilakukan di Indonesia melalui kebijakan penghapusan secara bertahap pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara. Namun demikian efisiensi energi fosil masih perlu ditingkatkan. Kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia mempunyai peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi fosil menuju energi rendah karbon.

Kata kunci: Carbon Emissions, Energy Efficiency, Indonesia, NPP Development

PENDAHULUAN

Menjelaskan Konsumsi energi listrik di Indonesia terus meningkat sejalan dengan peningkatan kesejahteraan penduduk. Peningkatan kesejahteraan masyarakat dipengaruhi oleh konsumsi energi listrik [1]. Konsumsi listrik dan air secara global mengalami peningkatan [2]. Kemajuan sebuah negara dipengaruhi besarnya konsumsi energi, adanya peningkatan ekonomi juga sejalan dengan semakin tinggi penggunaan energi listrik [3]. Kegiatan yang sebagian besar dilakukan di dalam ruang perlu mendapat konsumsi energi yang optimal guna meningkatkan kenyamanan, produktivitas dan kesehatan [4]. Konsumsi energi dipengaruhi oleh energi yang di impor maupun diproduksi di dalam negeri [5]. Peningkatan konsumsi energi memberikan dampak pada masalah sosial dan lingkungan. Tahap pengoperasian dan pemeliharaan bangunan tua menjadi peluang besar pada efisiensi energi [6]. Energi listrik terbarukan yang efisien perlu diintegrasikan pada sistem penyimpanan energi [7]. Penggunaan “Tiny House” berupa hunian dengan luas lantai dibawah 37m2 menjadi cara efisiensi konsumsi energi pada bangunan [8]. Sektor konstruksi pada bangunan mempunyai peran dalam emisi gas rumah kaca global sekitar 39% [9]. Konsumsi energi mempunyai dampak pada perubahan iklim [10].

Suplai energi listrik di Indonesia dipenuhi dari sumber energi terbarukan dan energi baru. Kebijakan energi nasional yaitu melakukan pengembangan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan [11]. Kebutuhan energi listrik suatu wilayah dipengaruhi oleh interkoneksi wilayah dan suplai energi [12]. Penghapusan secara bertahap PLTU Batubara [13]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap untuk produsen energi bersih pada bangunan meningkatkan efisiensi energi. Upaya ini mendukung penghapusan energi fosil secara bertahap [14]. Intervensi efisiensi energi dengan penggunaan fotovoltaiik dan penggunaan lampu light emitting diode mengacu pada aspek keberlanjutan, ekonomi, lingkungan dan sosial [15]. Sumber energi angin, surya perlu ditingkatkan untuk memenuhi Perjanjian Iklim Paris [16]. Pada tahun 2022 pemanfaatan energi batubara mayoritas sebesar 42%, minyak 31% dan gas 14%. Pemanfaatan EBT sebesar 12,3% dengan harapan kedepan ada peningkatan bauran energi dari energi baru dan energi terbarukan [17].

Penggunaan energi fosil mempunyai dampak pada emisi karbon tinggi, sehingga diperlukan efisiensi penggunaan energi fosil. Penggunaan energi fosil telah mendukung pertumbuhan industri, namun selain menghasilkan energi listrik juga menyebabkan masalah tingginya gas rumah kaca [18]. Sektor semen global mayoritas menggunakan energi dari bahan bakar fosil [19]. Penggunaan energi fosil harus diikuti pengembangan teknologi energi bersih [20]. Untuk mengurangi dampak lingkungan perlu efisiensi konsumsi energi fosil tradisional [21]. Efisiensi energi dapat dilakukan dengan mengurangi konsumsi energi pada sistem pemanas dan pendingin [22]. Upaya menanggulangi dampak perubahan iklim perlu transisi menuju ekonomi rendah energi fosil [23]. Sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan berpotensi besar meningkatkan efisiensi energi [24].

Efisiensi energi tinggi karbon dapat dilakukan dengan mengurangi konsumsi energi fosil dan meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan. Energi mempunyai peran penting dalam kemajuan sektor ekonomi, sosial dan teknologi. Alternatif penggunaan energi terbarukan ditingkatkan karena cadangan minyak terbatas dan permintaan energi tinggi [25]. Efisiensi energi telah dilakukan pada peralatan dan bangunan untuk mengurangi gas rumah kaca [26]. Baterai menjadi solusi untuk alat menyimpan energi yang bersifat intermiten [27]. Strategi mengurangi emisi gas rumah kaca pada industri dapat dilakukan dengan peningkatan efisiensi energi [28]. Efisien energi fosil dan konservasi energi menjadi strategi dalam pembangunan berkelanjutan [29]. Pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil mempunyai dampak lingkungan sehingga perlu efisiensi energi [30]. Emisi CO₂ pada sektor transportasi mempunyai peran besar pada perubahan iklim, diperlukan solusi efisiensi energi pada

transportasi yang menggunakan bahan bakar fosil [31]. Efisien energi dapat dilakukan melalui pengembangan produksi listrik energi terbarukan antara lain tenaga surya [32]. Implementasi pembangunan berkelanjutan dengan pengembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi dan pencemaran lingkungan pada kota pintar [33]. Bahan elektroda karbon yang berasal dari Crystalline NanoCelulose dapat menjadi sistem penyimpanan energi dengan biaya rendah [34].

Kebijakan peningkatan bauran energi baru dan energi terbarukan menjadi solusi masalah emisi CO₂. Kebijakan energi di Indonesia menyebutkan bahwa pengelolaan energi meliputi kegiatan penyediaan, pemanfaatan dan pengusahaan energi harus dilaksanakan secara adil, berkelanjutan, rasional, optimal dan terpadu [35]. Kebijakan insentif untuk mengurangi emisi karbon dengan peningkatan energi terbarukan telah dilakukan di banyak negara [36]. Kegiatan yang dapat mengurangi masalah global tentang emisi karbon yaitu meningkatkan penggunaan energi terbarukan, adopsi teknologi bahan bakar nol emisi dan meningkatkan efisiensi energi [37]. Strategi mengurangi dampak emisi rumah kaca antara lain meningkatkan efisiensi energi bangunan dan memenuhi kebutuhan energi dengan energi terbarukan [38]. Efisiensi energi juga dapat menggunakan sistem penyimpanan energi panas Phase Change Material [39].

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan teknologi yang menghasilkan energi rendah karbon. Model bauran energi yang optimal dapat memenuhi konsumsi energi [40]. Solusi masalah pemanasan global dengan bauran energi baru terbarukan yaitu menggunakan energi rendah emisi seperti surya, air, angin dan nuklir [41]. PLTN merupakan energi efisien apabila dibandingkan dengan energi fosil dan menghasilkan energi listrik nol emisi karbon pada saat beroperasi [42]. Energi baru penghasil netral karbon yaitu air, surya, angin dan nuklir [43]. Kontek sosial politik menjadi salah satu faktor promosi suatu teknologi, nuklir merupakan energi yang dapat diandalkan dalam kebijakan pengembangan energi [44]. Nuklir dan gas menjadi opsi bauran energi baru terbarukan dalam transisi energi [45]. PLTN saat ini belum dibangun di Indonesia, namun rencana pembangunan PLTN pertama di Indonesia menggunakan teknologi small modular reactor [46].

Pemerintah telah melakukan upaya mengurangi emisi karbon, namun demikian mayoritas pembangkit listrik di Indonesia saat ini masih menggunakan energi fosil. Pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil memiliki emisi karbon tinggi [47]. Untuk mencapai netral karbon pada tahun 2060 kebijakan pemanfaatan energi baru terbarukan di targetkan melebihi energi fosil sekitar 51,6% [48]. Pemerintah telah mengeluarkan kebijakan penghapusan secara bertahap pembangkit listrik dengan bahan batubara sampai dengan tahun 2040 [49]. Upaya mengurangi emisi pada pembangkit listrik dengan tenaga batubara dilakukan dengan penggunaan bahan bakar nuklir atau energi baru dan terbarukan lainnya [50]. Di Indonesia batubara merupakan andalan bauran energi dan menjadi komoditas ekspor yang meningkat sekitar 168,89% pada tahun 2021 [49].

Meskipun efisiensi energi telah dilakukan di Indonesia, tetapi masih diperlukan upaya mengurangi emisi karbon. Efisiensi energi yang tinggi dilakukan untuk mitigasi dampak perubahan iklim [51]. Efisiensi energi menjadi salah satu aspek evaluasi gas rumah kaca pada industri otomotif [52]. Pengaturan sistem pemanas, ventilasi dan pendingin udara dengan tujuan efisiensi energi pada bangunan pada cuaca iklim panas [53]. Pemanfaatan fluida kerja dan nanofluida menjadi salah satu metode efisiensi energi [54]. Mengurangi emisi berbasis alam dengan atap hijau (*green roof*) telah digunakan masyarakat perkotaan dalam efisiensi energi pada bangunan [55]. Penjadwalan peralatan diperlukan untuk mendapatkan bangunan yang hemat energi [56]. Kegiatan efisiensi energi lainnya yaitu penggunaan baterai sekunder untuk menyimpan energi dengan masa pakai panjang dan mempunyai efisiensi konversi energi tinggi [57].

Saat ini efisiensi energi di Indonesia belum optimal, khususnya pada sektor pembangkit listrik. Efisiensi energi diperlukan pada pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara karena selain menyebabkan polusi tinggi juga penggunaan bahan bakar fosil tidak efisien [58]. Teknologi satelit dirancang untuk mengukur emisi karbon besar yang dihasilkan dari pembangkit listrik, industri dan kota-kota besar [59]. Simulasi model energi menjadi salah satu variabel efisiensi energi dalam sistem nol emisi [60]. Implementasi kebijakan efisiensi energi oleh pemerintah mempunyai pengaruh pada penggunaan teknologi hemat energi [61]. Indonesia mempunyai rencana penambahan pembangkit listrik tenaga batubara terbesar di dunia. Pembangunan pembangkit listrik tenaga batubara di Indonesia mempunyai konsentrasi dan koneksi politik yang sangat baik, selain itu industri batubara di Indonesia juga memberikan kontribusi pada anggaran daerah dan anggaran nasional [62].

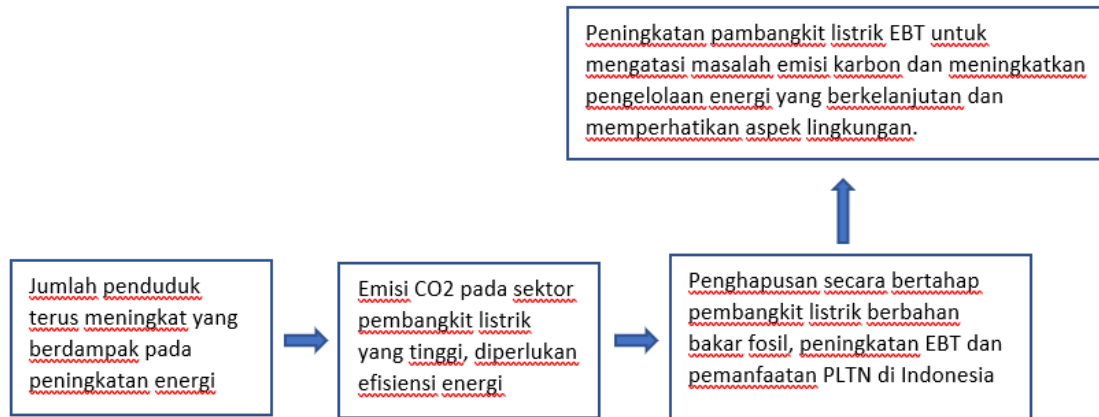
Krisis energi bersih telah dirasakan di Indonesia, akan tetapi penambahan pembangkit listrik dari energi baru terbarukan relatif kecil. Masyarakat berpotensi kekurangan energi sehingga perlu melakukan efisiensi energi [63]. Potensi energi terbarukan besar akan tetapi pemanfaatan untuk energi masih rendah. Aspek subsidi dan tarif energi mempengaruhi penggunaan energi terbarukan dan efisiensi energi [64]. Pembangkit listrik berbahan bakar batubara menjadi penopang energi karena batubara tersedia dan murah. Hal ini menjadi penghambat penggunaan energi terbarukan pada pembangkit listrik [65]. Pemanfaatan energi konvensional dan energi terbarukan untuk mendapatkan peningkatan kemandirian energi dan program dekarbonisasi [66]. Penggunaan bahan bakar batubara pada sektor industri yang tinggi diperlukan peningkatan efisiensi energi dan optimasi mitigasi emisi [67].

Kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia mempunyai peran penting dalam efisien energi fosil dan mengatasi masalah perubahan iklim. Sumber energi untuk pembangkit listrik berupa nuklir, air, matahari merupakan sumber energi yang bebas karbon [68]. Nuklir sebagai teknologi ramah lingkungan dalam menyediakan listrik dapat digunakan untuk mengatasi masalah emisi karbon [69]. Pada tahun 1990an nuklir menjadi dasar pertumbuhan ekonomi dan gerakan ramah lingkungan [70]. PLTN skala kecil dapat menjadi opsi penyediaan energi listrik di Indonesia [71]. Kalimantan Barat merupakan salah satu calon lokasi pembangunan PLTN di Indonesia [72].

Penelitian ini penting karena pemerintah telah mengeluarkan kebijakan penghapusan secara bertahap penggunaan sumber energi fosil sehingga diperlukan teknologi yang dapat menghasilkan energi listrik rendah karbon. Efisiensi penggunaan energi fosil dan peningkatan energi EBT mendukung teori pembangunan berkelanjutan nomor 7 yaitu energi bersih dan terjangkau. Kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia mempunyai peran penting dalam menghasilkan energi bersih dan meningkatkan efisiensi energi fosil sebagai upaya mengurangi emisi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia dalam meningkatkan efisiensi energi sebagai upaya mengurangi emisi karbon.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif, yang mengutamakan proses untuk menghasilkan deskripsi kata-kata. Sampel penelitian ini diambil dari data dokumen dan data dari artikel jurnal. Penelitian ini melakukan observasi data yang diperoleh dari artikel jurnal, dokumen peraturan, dokumen publik seperti web-site, dan laporan eksekutif. Instrumen dalam penelitian ini adalah peneliti yang tertarik pada kajian kebijakan energi. Prosedur penelitian ini yaitu melakukan analisis data yang berupa kata-kata tertulis. Analisis data pada penelitian ini dilakukan secara deskriptif dan triangulasi sumber data.



Gambar1. Analisis Peran Pembangunan PLTN di Indonesia dalam Efisiensi Energi Fosil

Masalah emisi karbon pada pembangkit listrik yang mayoritas menggunakan energi fosil diperlukan efisiensi energi guna mengatasi dampak perubahan iklim. PLTN sebagai pembangkit listrik rendah karbon mempunyai peran penting dalam efisiensi energi fosil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Tren Konsumsi Listrik Perkapita

Tahun	kWh/Perkapita
2017	1.021
2018	1.064
2019	1.084
2020	1.091
2021	1.123
2021	1.173

Sumber: Buku Outlook Energi Indonesia 2023, Dewan Energi Nasional (diolah penulis).

Tabel 1 menjelaskan kenaikan listrik perkapita sehingga diperlukan upaya efisiensi energi untuk menurunkan emisi karbon.

Menurut data outlook energi Indonesia 2023 yang diterbitkan Dewan Energi Nasional (DEN), Tren konsumsi energi per jenis selama 10 tahun dari tahun 2013 – 2022 konsumsi energi mayoritas dari batubara 41,9 juta TOE (26%), BBM 37 juta TOE (23%), dan biodiesel yang terdiri dari campuran minyak diesel dan FAME atau B-30 sebesar 30 juta TOE (19%).

Tabel 2. Pembangkit Listrik per Jenis yang Terpasang di Indonesia

Tahun	Total Bauran Energi Batubara, Gas, Minyak dan EBT
2013	51 GW
2014	53 GW
2015	55 GW
2016	58 GW
2017	62 GW
2018	65 GW
2019	70 GW
2020	73 GW
2021	75 GW
2022	84 GW

Sumber: Buku Outlook Energi Indonesia 2023, Dewan Energi Nasional (diolah penulis).

Pembangkit listrik di Indonesia dari 2013 – 2022 mengalami penambahan jumlah pembangkit listrik sekitar 1,7 kali lipat. Pembangkit listrik di Indonesia mayoritas masih menggunakan bahan bakar fosil dan pembangkit listrik berbahan bakar energi baru terbarukan (EBT) relatif kecil sebesar 15%.

Tabel 3. Pembangkit Listrik Berbahan Bakar EBT di Indonesia

Tahun	Total PLT EBT yang terdiri dari PLTA, PLTP, PLTB, PLTS, PLT Bio, PLT Hibrid
2013	7 GW
2014	7 GW
2015	9 GW
2016	9 GW
2017	9 GW
2018	10 GW
2019	10 GW
2020	10 GW
2021	12 GW
2022	13 GW

Sumber: Buku Outlook Energi Indonesia 2023, Dewan Energi Nasional (diolah penulis).

Menurut outlook energi Indonesia 2023, (DEN) Pembangkit listrik EBT mayoritas menggunakan tenaga air sebesar 58%, panas bumi 20% dan biomassa 18% dan tenaga surya

sebesar 225MW. Di Indonesia Emisi CO₂ tahun 2022 pada pembangkit listrik mencapai mencapai 42,6% atau sekitar 297 juta ton CO₂. Emisi CO₂ pada sektor industri sebesar 206,4 ton, emisi sektor transportasi sebesar 155,6 juta ton CO₂ dan emisi sektor komersial serta sektor rumah tangga sebesar 32,8 juta ton CO₂. Emisi CO₂ dari tahun 2013-2022 mengalami peningkatan sekitar 4,3% per tahun. Peningkatan emisi tertinggi berasal dari sektor industri sebesar 8,8% per tahun dan sektor pembangkit listrik sebesar 4,8%.

Konsumsi energi saat ini sebagian besar berasal dari energi fosil, sehingga diperlukan efisiensi. Konsumsi energi di perkotaan di seluruh dunia mengalami peningkatan, sehingga perlu pemanfaatan teknologi yang berkelanjutan dan peningkatan penggunaan energi terbarukan [73]. Bangunan mempunyai pengaruh pada besarnya konsumsi energi dan emisi yang ditimbulkan, sehingga perlu menggunakan tambahan teknologi [74]. Perkembangan teknologi digital dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi pada bangunan dan konsumsi energi pada bangunan [75]. Teknologi juga diperlukan untuk efisiensi energi, konsumsi bahan bakar yang lebih rendah pada kendaraan listrik namun tetap nyaman [76]. Tingkat konsumsi bahan bakar pada kapal pesiar ukuran menengah dapat menurun sebesar 4,5% dengan tambahan penggunaan teknologi [77]. Peningkatan konsumsi energi dan emisi karbon yang tinggi perlu diimbangi dengan bauran energi dan kemajuan teknologi untuk mengimbangi penggunaan energi minyak dan batubara [78].

Efisiensi sumber energi fosil perlu di tingkatkan untuk mengurangi emisi karbon. Emisi karbon secara global terus meningkat, tahun 2021 emisi karbon meningkat sekitar 4,2% [79]. Pajak karbon menjadi salah satu strategi dalam efisiensi sektor industri [80]. Tingginya emisi pada tahun 2013 dipengaruhi dari besarnya konsumsi energi pada sektor industri negara-negara berkembang [81]. Penggunaan bahan bakar fosil secara luas berdampak pada berbagai aspek kehidupan dan perubahan iklim, negara harus meningkatkan efisiensi energi dan menggunakan sumber energi berkelanjutan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca [82]. Usaha mencapai netralitas gas rumah kaca dalam jangka panjang pada sektor penerbangan perlu penggantian bahan bakar fosil dengan bahan bakar energi terbarukan [83]. Konversi pembangkit listrik dari bahan bakar batubara menjadi berbasis energi baru terbarukan menjadi strategi transisi penyediaan energi pada pembangkit listrik [84].

Efisiensi energi fosil pada pembangkit listrik menjadi upaya menanggulangi dampak pemanasan global. Negara-negara di Asia menggunakan bahan bakar utama batubara, yang mana batubara menjadi salah satu penyebab masalah perubahan iklim [85]. Kenaikan konsumsi energi menyebabkan pertumbuhan pembangkit listrik [86]. Kebijakan penggunaan transportasi kendaraan listrik memberikan manfaat energi ramah lingkungan [87]. Dampak emisi gas rumah kaca dan pemanasan global menyebabkan perkembangan teknologi pembangkit listrik dan kebijakan energi menawarkan solusi penggunaan energi terbarukan [88]. Perjanjian internasional menjadi dasar penghapusan secara bertahap penggunaan batubara dalam upaya mengatasi masalah iklim [89]. Aspek politik dan aspek ekonomi menjadi dasar kerjasama yang baik dalam pemanfaatan energi terbarukan [90].

Teknologi PLTN dapat dimanfaatkan dalam penyediaan energi listrik di Indonesia. Kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia mendukung teori pembangunan berkelanjutan. Dekarbonisasi pada sektor industri merupakan salah satu upaya mewujudkan tujuan pembangunan berkelanjutan [91]. Tujuan pembangunan berkelanjutan nomor 7 terkait energi menjadi acuan akses energi terjangkau, andal, berkelanjutan pada tahun 2030. Tujuan ini memerlukan pengembangan teknologi, transisi energi fosil ke energi terbarukan dan sumber energi andal seperti nuklir dan hidrogen [92]. Diperlukan strategi penyediaan listrik bersih untuk industri, kendaraan listrik, menghadapi tantangan intermiten energi terbarukan [93]. Untuk memenuhi Perjanjian Paris dan Pembangunan Berkelanjutan serta mengurangi ketergantungan pada energi fosil tradisional diperlukan kebijakan yang tepat untuk mengurangi

emisi karbon [94]. Untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan PLTN masuk sistem transisi energi dan PLTN masuk prioritas dibangun di Indonesia [95]. Kebijakan terkait PLTN telah tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional serta termuat dalam Undang-Undang RI Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi.

Kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia mempunyai peran penting dalam mengatasi masalah emisi karbon dan kebutuhan energi untuk industri. Pada tahun 1950-an pembangkit listrik tenaga nuklir komersial pertama mulai dioperasikan. Sebanyak lebih dari 50 negara telah memanfaatkan nuklir dan sekitar 10% kebutuhan listrik dunia disuplai dari energi nuklir [96]. PLTN dapat mengatasi masalah intermiten sebagian energi terbarukan [97]. EBT memiliki kelebihan stabil, berkelanjutan dan ramah lingkungan, perlu percepatan peningkatan EBT dalam menggantikan energi fosil yang saat ini mayoritas digunakan pada industri dan pembangkit listrik [98]. PLTN sebagai penghasil energi bersih dapat menjadi penopang industrialisasi [99]. Untuk mengatasi emisi gas rumah kaca dan industrialisasi diperlukan energi bersih, berskala besar dan murah, energi itu dapat dihasilkan dari PLTN [100].

KESIMPULAN

Kebijakan efisiensi energi telah dilakukan di Indonesia, namun perlu ditingkatkan terutama penggunaan teknologi dalam efisiensi energi fosil pada pembangkit listrik. Kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia mempunyai peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi fosil pada pembangkit listrik. PLTN sebagai pembangkit listrik rendah karbon dapat menjadi upaya pemerintah dalam mengurangi emisi karbon. Efisiensi energi dalam pembangkit listrik yang berbahan bakar fosil perlu ditingkatkan di Indonesia sebagai upaya mengatasi masalah global perubahan iklim. Kebijakan pembangunan PLTN telah dituangkan di dalam regulasi yang ada di Indonesia.

Penelitian ini memberikan kontribusi pada peningkatan karya tulis ilmiah mengenai peran kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia untuk mewujudkan efisiensi energi fosil pada pembangkit listrik. Manfaat lainnya yaitu memberikan rekomendasi kebijakan tentang peran penggunaan teknologi nuklir dalam menyediakan energi rendah karbon di Indonesia. Penelitian ini memberikan informasi peran kebijakan pembangunan PLTN di Indonesia dalam meningkatkan efisiensi energi, khususnya efisiensi energi fosil pada pembangkit listrik. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan topik dan metode penelitian lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Ibu Yanuar Farida Wismayanti S.ST., M.A., Ph.D, dan Oktriditia Saraswati, S.Sos atas suportnya untuk mengikuti seminar TREnD. Terimakasih juga kami sampaikan kepada Panitia Seminar Nasional TREnD (4) FTI Universitas Jayabaya yang telah memberikan kesempatan penulis sebagai presenter pada seminar TREnD.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] pslh, “Ringkasan Eksekutif “Kajian Akademik Nuklir Sebagai Solusi dari Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan untuk Mengejar Indonesia Sejahtera dan Rendah Karbon pada Tahun 2050”,” *pslh.ugm.ac.id*, Yogyakarta, 2021.
- [2] A. Velte-Schafer *et al.*, “Utilizing waste heat from data centers with adsorptive heat transformation – Heat exchanger design and choice of adsorbent,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 310, pp. 1–17, 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118500.

- [3] E. C. Rafael, “PLN: Konsumsi listrik makin besar, negara semakin maju.,” *kontan.co.id*, 2019. <https://industri.kontan.co.id/news/pln-konsumsi-listrik-makin-besar-negara-semakin-maju> (accessed Mar. 09, 2022).
- [4] P. H. Niknam, R. Fisher, L. Ciappi, and A. Sciacovelli, “Optimally integrated waste heat recovery through combined emerging thermal technologies: Modelling , optimization and assessment for onboard multi-energy systems,” *Appl. Energy*, vol. 366, pp. 1–22, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123298.
- [5] DEN, “Laporan Kajian Penelaahan Neraca Energi Nasional 2020,” Jakarta, 2020. [Online]. Available: <https://den.go.id/index.php/publikasi/index/Buku>.
- [6] A. S. Cespedes-Cubides and M. Jradi, “A review of building digital twins to improve energy efficiency in the building operational stage,” *Energy Informatics*, vol. 7, no. 11, pp. 1–31, 2024, doi: 10.1186/s42162-024-00313-7.
- [7] F. D. Minuto, E. Rozzi, R. Borchellini, and A. Lanzini, “Modeling hydrogen storage at room temperature: Adsorbent materials for boosting pressure reduction in compressed H₂ tanks,” *J. Energy Storage*, vol. 90, pp. 1–10, 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.111758.
- [8] J. Mukhopadhyay and D. R. Diaz, “Evaluating energy efficiency strategies in a tiny house located in a cold dry climate,” *Energy Reports*, vol. 11, pp. 5744–5759, 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.04.050.
- [9] M. Gutai, B. Mok, G. Cavana, and A. G. Kheybari, “Global carbon viability of glass technologies : Life-Cycle Assessment of standard , advanced and water-filled glass (WFG) hybrid building envelopes,” *Appl. Energy*, vol. 367, no. December 2023, 2023, doi: doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123281.
- [10] A. Chkeir, Y. Bouzidi, Z. El Akili, M. Charafeddine, and Z. Kashmar, “Assessment of thermal comfort in the traditional and contemporary houses in Byblos: A comparative study,” *Energy Built Environ.*, vol. 5, no. 6, pp. 933–945, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2023.07.006.
- [11] Kementrian Sekretaris Negara, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional.” 2014, [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/5523/pp-no-79-tahun-2014>.
- [12] Ris/red, “PT PLN Bersama Perusahaan Listrik Malaysia, Laos dan Thailand Bahas Sistem Interkoneksi Listrik ASEAN,” *Berita Pembaharuan*, Bali, 2023.
- [13] I. Hamdun, “Implementasi Just Energy Transition Partnership (JETP) Sebagai Kemitraan Antara Pemerintah Indonesia Dan International Partners Group,” Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, 2023.
- [14] V. Kapsalis *et al.*, “Bottom-up energy transition through rooftop PV upscaling: Remaining issues and emerging upgrades towards NZEBs at different climatic conditions,” *Renew. Sustain. Energy Transit.*, vol. 5, p. 100083, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.rset.2024.100083.
- [15] C. E. Barbara, I. D. Adamo, M. Gastaldi, and A. S. Nizami, “Clean energy for a sustainable future: Analysis of a PV system and LED bulbs in a hotel,” *Energy*, vol. 299, no. July 2023, pp. 1–17, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.131547.
- [16] V. Dieterich, K. Neumann, A. Niederdränk, H. Spliethoff, and S. Fendt, “Techno-economic assessment of renewable dimethyl ether production pathways from hydrogen and carbon dioxide in the context of power-to-X,” *Energy*, vol. 301, p. 131688, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.131688.
- [17] S. Jenderal and D. E. Nasional, *Outlook Energi Indonesia 2023*, 2023rd ed. Jakarta: Dewan Energi Nasional, 2023.
- [18] M. Sharifishourabi, I. Dincer, and A. Mohany, “Advancing energy transition with novel biomass-solar based multigeneration energy system using hydrogen and storage

- options for sustainable cities,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 108, p. 105457, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.scs.2024.105457.
- [19] G. Clark, M. Davis, Shibani, and A. Kumar, “Assessment of fuel switching as a decarbonization strategy in the cement sector,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 312, p. 118585, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118585.
- [20] A. Piwowar and M. Dzikuć, “The Economic and Social Dimension of Energy Transformation in the Face of the Energy Crisis: The Case of Poland,” *Energies*, vol. 17, no. December 2023, pp. 1–12, 2024, doi: 10.3390/en17020403.
- [21] A. Maiorino, F. Petruzzello, A. Grilletto, and C. Aprea, “Kinetic energy harvesting for enhancing sustainability of refrigerated transportation,” *Appl. Energy*, vol. 364, pp. 1–11, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123145.
- [22] M. Corral-bobadilla and C. Sabando-fraile, “Enhancing thermal conductivity of sinterized bronze (Cu89 / Sn11) by 3D printing and thermal post-treatment : Energy efficiency and environmental sustainability Rub ’,” vol. 299, no. April, 2024.
- [23] O. Al-Jayyousi, W. N. W. Hasan, S. Mohamed Saniff, S. D. Sever, and E. Tok, “A Critical Discourse Analysis on Climate Change in a Globalized World: The Nexus of Islam and Sustainable Development,” *Sustain.*, vol. 15, no. August 2023, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3390/su151914515.
- [24] J. Ignjatović, S. Filipović, and M. Radovanović, “Challenges of the green transitoin for the recovery of the Western Balkans,” *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 14, no. 1, p. 2, Jan. 2024, doi: 10.1186/s13705-023-00421-4.
- [25] N. S. Almuqati *et al.*, “Catalytic production of light Olefins: Perspective and prospective,” *Fuel*, vol. 366, pp. 1–27, 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2024.131270.
- [26] M. Le *et al.*, “Inequity in public sector energy efficiency? Explaining disparities in program budgets in California, United States,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 114, p. 103590, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.erss.2024.103590.
- [27] V. N. Setiawan, “Misi Mengganti Wujud Pembangkit Fosil Tua untuk Capai Bauran Energi,” *Katadata.co.id*, Nov. 2020.
- [28] G. Yan, S. J. Kenway, K. L. Lam, and P. A. Lant, “Water-energy trajectories for urban water and wastewater reveal the impact of city strategies,” *Appl. Energy*, vol. 366, pp. 1–14, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123292.
- [29] M. I. Khan *et al.*, “The GCC ’ s path to a sustainable future: Navigating the barriers to the adoption of energy efficiency measures in the built environment,” *Energy Convers. Manag.* X, vol. 23, pp. 1–24, 2024, doi: 10.1016/j.ecmx.2024.100636.
- [30] A. Rincón-Montenegro, M. Carmona, M. Sanjuan, A. Ramirez, and I. Portnoy, “Multi-criteria assessment of transition scenarios for a novel hybrid power and hydrogen generation system,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 313, p. 118552, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118552.
- [31] R. Caponi, E. Bocci, and L. Del Zotto, “On-site hydrogen refuelling station techno-economic model for a fleet of fuel cell buses,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 71, pp. 691–700, 2024, doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.05.216.
- [32] M. Liravi, E. Karkon, J. Jamot, C. Wemhoener, Y. Dai, and L. Georges, “Energy efficiency and borehole sizing for photovoltaic-thermal collectors integrated to ground source heat pump system: A Nordic case study,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 313, p. 118590, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118590.
- [33] X. Li, Q. Wang, and Y. Tang, “The Impact of Artificial Intelligence Development on Urban Energy Efficiency—Based on the Perspective of Smart City Policy,” *Sustainability*, vol. 16, no. March 2024, pp. 1–22, 2024, doi: 10.3390/su16083200.
- [34] I. Ojeda *et al.*, “Cellulose nanocrystal-derived carbon electrodes for sustainable potassium-ion charge storage systems,” *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 40, pp. 1–11,

- 2024, doi: 10.1016/j.susmat.2024.e00932.
- [35] UU RI No. 30, “Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi.” Jakarta, p. 1:27, 2007, [Online]. Available: <https://jdih.esdm.go.id/peraturan/uu-30-2007.pdf>.
 - [36] A. Vavouris, F. Guasselli, L. Stankovic, V. Stankovic, K. Gram-Hanssen, and S. Didierjean, “A complex mixed-methods data-driven energy-centric evaluation of net-positive households,” *Appl. Energy*, vol. 367, no. January 2024, pp. 1–14, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123404.
 - [37] J. Nguyen, “Beyond policy impacts: Internal strategic capabilities as determinants of industrial energy efficiency implementation,” *Energy Policy*, vol. 184, no. November 2022, 2023, doi: 10.1016/j.enpol.2023.113898.
 - [38] M. Gonçalves, A. Figueiredo, R. M. S. F. Almeida, and R. Vicente, “Dynamic façades in buildings: A systematic review across thermal comfort, energy efficiency and daylight performance,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 199, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1016/j.rser.2024.114474.
 - [39] A. M. Nair *et al.*, “Advancing thermal performance in PCM-Based energy Storage: A comparative study with Fins, expanded Graphite, and combined configurations,” *Energy Convers. Manag. X*, vol. 23, pp. 1–18, 2024, doi: 10.1016/j.ecmx.2024.100627.
 - [40] R. Komiyama and Y. Fujii, “Analysis of Japan’s long-term energy outlook considering massive deployment of variable renewable energy under nuclear energy scenario,” *IEEE Trans. Power Energy*, vol. 132, pp. 780–792, 2012, doi: 10.1541/ieejpes.132.780.
 - [41] DEN, “Go Green Dengan Energi Nuklir,” *den.go.id*, 2011. <https://den.go.id/index.php/dinamispage/index/106-.html>.
 - [42] M. H. Simanjuntak and A. Jauhary, “BRIN: PLTN hasilkan energi listrik lebih efisien dengan emisi rendah,” *antaranews.com*, Jakarta, 2022.
 - [43] V. V. Kharitonov and D. Y. Semenova, “On the Economic Efficiency of Nuclear Power Digitization under the Conditions of Global Energy Transition,” *Stud. Russ. Econ. Dev.*, vol. 34, no. September 2022, pp. 221–230, 2023, doi: 10.1134/S1075700723020053.
 - [44] P. Żuk, “Soft power and the media management of energy transition: Analysis of the media narrative about the construction of nuclear power plants in Poland,” *Energy Reports*, vol. 9, no. August 2022, pp. 568–583, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.11.192.
 - [45] metrotvnews.com, “Gas dan Nuklir Jadi Opsi Terbaik Transisi Energi Hijau,” *metrotvnews.com*, 2022. <https://www.metrotvnews.com/play/kBVC2d3Y-gas-dan-nuklir-jadi-opsi-terbaik-transisi-energi-hijau> (accessed Aug. 02, 2022).
 - [46] DEN, “DEN Bersama BRIN Gelar FGD Strategi Pembangunan Energi,” *den.go.id*, 2021. <https://den.go.id/index.php/dinamispage/index/1137-den-bersama-brin-gelar-fgd-strategi-pembangunan-energi.html> (accessed Mar. 11, 2022).
 - [47] Kurtubi, “Pak Presiden, Ini Strategi Transisi Menuju Energi Bersih dan Murah,” *bergelora.com*, 2021.
 - [48] A. Pribadi, “COP ke-26, Menteri ESDM Sampaikan Komitmen Indonesia Capai Net Zero Emission,” *esdm.go.id*, 2021. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/cop-ke-26-menteri-esdm-sampaikan-komitmen-indonesia-capai-net-zero-emission->.
 - [49] MI, “Selamat Tinggal PLTU Batu Bara,” *Media Indonesia*, 2021. https://mediaindonesia.com/editorials/detail_editorials/2479-selamat-tinggal-pltu-batu-bara Diakses tanggal 7 Februari 2022 (accessed Feb. 07, 2022).
 - [50] I. N. Finahari, D. H. S, and H. Susiati, “Gas CO₂ dan Polutan Radioaktif dari PLTU

- Batubara,” *J. Pengemb. Energi Nukl.*, 2007.
- [51] M. Zolfagharroshan, A. F. Zueter, M. S. K. Tareen, M. Xu, and A. P. Sasmito, “Two-phase closed thermosyphons (TPCT) for geothermal energy extraction: A computationally efficient framework,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 248, pp. 1–13, 2024, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.123205.
 - [52] L. Pérez Sánchez, R. Velasco-Fernández, and M. Giampietro, “Analyzing the energy metabolism of the automotive industry to study the differences found in this sector across EU countries,” *Energy*, vol. 296, no. June 2023, pp. 1–13, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.130855.
 - [53] J. Park *et al.*, “Field test of machine-learning based mean radiant temperature estimation methods for thermal comfort-integrated air-conditioning control improvement and energy savings,” *Energy Reports*, vol. 11, pp. 5682–5702, 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.05.040.
 - [54] M. Ferhi, S. Abidi, R. Djebali, and F. Mebarek-Oudina, “Assessment of micro-scale heat exchangers efficiency using lattice Boltzmann method and design of experiments,” *Energy Built Environ.*, vol. 5, no. 6, pp. 840–852, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2023.06.011.
 - [55] S. Savić, H. Krstić, I. Šećerov, and J. Dunjić, “Decreasing the energy demand in public buildings using nature-based solutions: case studies from Novi Sad (Republic of Serbia) and Osijek (Republic of Croatia),” *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 14, no. 1, p. 23, May 2024, doi: 10.1186/s13705-024-00455-2.
 - [56] L. Botman *et al.*, “Building plug load mode detection, forecasting and scheduling,” *Appl. Energy J.*, vol. 364, pp. 1–20, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123098.
 - [57] Y. Wu *et al.*, “Recent Progress in Sodium-Ion Batteries: Advanced Materials, Reaction Mechanisms and Energy Applications,” *Electrochem. Energy Rev.*, vol. 7, no. 1, p. 17, Dec. 2024, doi: 10.1007/s41918-024-00215-y.
 - [58] D. Bjelić, D. N. Markić, D. Prokić, B. N. Malinović, and A. A. Panić, “‘Waste to energy’ as a driver towards a sustainable and circular energy future for the Balkan countries,” *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 14, no. 1, p. 3, Jan. 2024, doi: 10.1186/s13705-023-00435-y.
 - [59] P. Ciais *et al.*, “Biofuel burning and human respiration bias on satellite estimates of fossil fuel CO₂ emissions,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 15, no. 7, p. 074036, Jul. 2020, doi: 10.1088/1748-9326/ab7835.
 - [60] F. Barrena, I. Montero, M. T. Miranda, J. I. Arranz, and F. J. Sepúlveda, “Experimental performance evaluation of self-consumption photovoltaic system with energy storage using TRNSYS,” *J. Energy Storage*, vol. 92, pp. 1–11, 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.112147.
 - [61] M. U. Yousuf, M. A. Irshad, and M. Umair, “Identifying barriers and drivers for energy efficiency in steel and iron industries of Karachi, Pakistan: Insights from executives and professionals,” *Energy Nexus*, vol. 14, pp. 1–12, 2024, doi: 10.1016/j.nexus.2024.100284.
 - [62] J. A. Ordonez, M. Jakob, J. C. Steckel, and A. Fünfgeld, “Coal, power and coal-powered politics in Indonesia,” *Environ. Sci. Policy*, 2021, doi: 10.1016/j.envsci.2021.05.007.
 - [63] K. Matschoss, S. Laakso, and E. Heiskanen, “What can we say about the longer-term impacts of a living lab experiment to save energy at home?,” *Energy Effic.*, vol. 17, no. 50, pp. 1–13, 2024, doi: 10.1007/s12053-024-10231-y.
 - [64] S. Filipović, A. Orlov, and A. A. Panić, “Key forecasts and prospects for green transition in the region of Central Asia beyond 2022,” *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 14, no. 1, p. 25, May 2024, doi: 10.1186/s13705-024-00457-0.

- [65] A. M. Khalid, “Creating Synergies among the Sustainable Development Goals and Climate Action: Insights from a Developing Economy,” *Sustain.*, vol. 15, no. August 2023, pp. 1–23, 2023, doi: 10.3390/su151713137.
- [66] S. Kiessling, H. Gohari Darabkhani, and A. H. Soliman, “Greater Energy Independence with Sustainable Steel Production,” *Sustain.*, vol. 16, no. December 2023, pp. 1–17, 2024, doi: 10.3390/su16031174.
- [67] Y. Su *et al.*, “Retrospect driving forces and forecasting reduction potentials of energy-related industrial carbon emissions from China’s manufacturing at city level,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 15, no. 7, p. 074020, Jul. 2020, doi: 10.1088/1748-9326/ab858b.
- [68] V. V. Kharitonov and D. Y. Semenova, “On the Economic Efficiency of Nuclear Power Digitization under the Conditions of Global Energy Transition,” *Stud. Russ. Econ. Dev.*, vol. 34, no. 2, pp. 221–230, 2023, doi: 10.1134/S1075700723020053.
- [69] M. T. Majeed, I. Ozturk, I. Samreen, and T. Luni, “Evaluating the asymmetric effects of nuclear energy on carbon emissions in Pakistan,” *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 54, no. 5, pp. 1664–1673, May 2022, doi: 10.1016/j.net.2021.11.021.
- [70] S. Lee, “Breaking the Myth of Nuclear Power Omnipotence in the Cold War era: Discourse on Nuclear Power and the Movement against the Construction of Nuclear Power Plants in South Korea in the 1980s and early 1990s,” *Int. J. Korean Hist.*, vol. 28, no. July 2023, pp. 133–179, 2023, doi: 10.22372/IJKH.2023.28.2.133.
- [71] R. Laksmono and P. Widodo, “Pengambilan Keputusan Strategik Energi Dan Implementasinya,” *Ketahanan Energi*, 2017.
- [72] S. Pribadi *et al.*, “Assessing the potential tsunami source of the Manila trench at the Bengkayang nuclear power plant site in Kalimantan using topographical details,” *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 13, no. 1, pp. 158–167, 2024, doi: 10.14710/ijred.2024.57967.
- [73] M. J. Romero-lara, F. Comino, and M. R. de Adana, “Experimental assessment of the energy performance of a renewable air-cooling unit based on a dew-point indirect evaporative cooler and a desiccant wheel,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 310, pp. 1–16, 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118486.
- [74] G. R. Araújo, R. Gomes, P. Ferrão, and M. G. Gomes, “Optimizing building retrofit through data analytics: A study of multi-objective optimization and surrogate models derived from energy performance certificates,” *Energy Built Environ.*, vol. 5, no. 6, pp. 889–899, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2023.07.002.
- [75] V. A. Arowoia, R. C. Moehler, and Y. Fang, “Digital twin technology for thermal comfort and energy efficiency in buildings: A state-of-the-art and future directions,” *Energy Built Environ.*, vol. 5, no. 5, pp. 641–656, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.enbenv.2023.05.004.
- [76] Y. Zhang *et al.*, “Predictive equivalent consumption minimization strategy based on driving pattern personalized reconstruction,” *Appl. Energy*, vol. 367, no. October 2023, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123424.
- [77] P. H. Niknam, R. Fisher, L. Ciappi, and A. Sciacovelli, “Optimally integrated waste heat recovery through combined emerging thermal technologies: Modelling, optimization and assessment for onboard multi-energy systems,” *Appl. Energy*, vol. 366, no. January 2024, pp. 1–25, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.123298.
- [78] Y. Sun *et al.*, “Emission accounting and drivers in East African countries,” *Appl. Energy*, vol. 312, p. 118805, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.118805.
- [79] R. B. Jackson *et al.*, “Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 17, no. 3, p. 031001, Mar. 2022, doi: 10.1088/1748-9326/ac55b6.
- [80] R. Zhu and B. Lin, “How Does the Carbon Tax Influence the Energy and Carbon

- Performance of China's Mining Industry?," *Sustainability*, vol. 14, no. 7, p. 3866, Mar. 2022, doi: 10.3390/su14073866.
- [81] H. Zheng *et al.*, "Regional determinants of China's consumption-based emissions in the economic transition," *Environ. Res. Lett.*, vol. 15, no. 7, p. 074001, Jul. 2020, doi: 10.1088/1748-9326/ab794f.
- [82] H. Neofytou, A. Nikas, and H. Doukas, "Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 131, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109988>.
- [83] S. Bube, N. Bullerdiek, S. Voß, and M. Kaltschmitt, "Kerosene production from power-based syngas – A technical comparison of the Fischer-Tropsch and methanol pathway," *Fuel*, vol. 366, pp. 1–17, 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2024.131269.
- [84] L. B. Risdaniar, "Analisis Strategi Transisi PT Indonesia Power Dari Perusahaan Berbasis Bahan Bakar Fosil Batubara Ke Perusahaan Berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT)," UGM, 2021.
- [85] Yung-ho Chiu, K.-Y. Huang, T.-H. Chang, and T.-Y. Lin, "Efficiency assessment of coal mine use and land restoration: Considering climate change and income differences," *Resour. Policy*, vol. 73, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102130>.
- [86] B. Zhao, X. Cao, and P. Duan, "Cooperative operation of multiple low-carbon microgrids : An optimization study addressing gaming fraud and multiple uncertainties," vol. 297, no. April, 2024.
- [87] H. I. Shaheen, G. I. Rashed, B. Yang, and J. Yang, "Optimal electric vehicle charging and discharging scheduling using metaheuristic algorithms: V2G approach for cost reduction and grid support," *J. of Energy Storage*, vol. 90, pp. 1–10, 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.111816.
- [88] H. Wang, Y. Guo, H. Guo, and B. Safar, "Energy policy influence on the surplus welfare of subscribers in present of cleaner energy sources," *J. Clean. Prod.*, vol. 280, no. 2, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124145>.
- [89] Anthony Burke and S. Fishel, "A coal elimination treaty 2030: Fast tracking climate change mitigation, global health and security," *Earth Syst. Gov.*, vol. 3, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.esg.2020.100046>.
- [90] N. Šekarić Stojanović and K. Zakić, "Renewable energy as a connecting spot between China and Central and Eastern European countries: status, directions and perspectives," *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 14, no. 1, p. 10, Jan. 2024, doi: 10.1186/s13705-024-00439-2.
- [91] Z. Wang *et al.*, "Synergy of carbon capture, waste heat recovery and hydrogen production for industrial decarbonisation," *Energy Convers. Manag.*, vol. 312, pp. 1–12, 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118568.
- [92] A. N. A. Baidoo *et al.*, "Households ' energy conservation and efficiency awareness practices in the Cape Coast Metropolis of Ghana," *Discov. Sustain.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–18, 2024, doi: 10.1007/s43621-023-00154-6.
- [93] M. J. Salehpour and M. J. Hossain, "Leveraging machine learning for efficient EV integration as mobile battery energy storage systems: Exploring strategic frameworks and incentives," *J. Energy Storage J.*, vol. 92, pp. 1–26, 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.112151.
- [94] A. Rehman, H. Ma, I. Ozturk, M. Murshed, and V. Dagar, "The dynamic impacts of CO2 emissions from different sources on Pakistan's economic progress: a roadmap to sustainable development," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 23, no. 12, pp. 17857–17880, Dec. 2021, doi: 10.1007/s10668-021-01418-9.
- [95] M. Wauran, "Hasil G20 dan Nasib PLTN," *Bergelora.Com.*, 2022.

- <https://bergelora.com/hasil-g20-bali-dan-nasib-pltn/> Diakses 22 Nopember 2022.
- [96] World Nuclear Association, “Nuclear Power in the World Today,” *world nuclear. org*, 2023. <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx> (accessed Jan. 04, 2023).
- [97] C. Sessa and A. Ricci, “The world in 2050 and the New Welfare scenario,” *Futures*, vol. 58, pp. 77–90, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.10.019>.
- [98] DPR, “NASKAH AKADEMIK RANCANGAN UNDANG-UNDANG TENTANG ENERGI BARU DAN TERBARUKAN,” 2018, pp. 1–192, [Online]. Available: <https://berkas.dpr.go.id/pusatpuu/na/file/na-42.pdf>.
- [99] Kurtubi, “Energi Bersih Penopang Menjadi Negara Industri Maju,” *Kompas id*, 2021.
- [100] Humas BRIN, “Energi Nuklir, Opsi Transisi Energi Menuju NZE dan Pembangunan Berkelanjutan,” *brin.go.id*, 2022. <https://brin.go.id/news/101429/energi-nuklir-opsi-transisi-energi-menuju-nze-dan-pembangunan-berkelanjutan>.