



Peran PLTN Dalam Optimasi Perencanaan Energi Jangka Panjang di Indonesia untuk mencapai Komitmen Net Zero Emission

Suryani

Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta ,
Jln Prof Dr. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail: suryani@mhs.wpnj.ac.id

Abstrak

Abstrak ini akan mempelajari bagaimana peranan tenaga nuklir di dalam perencanaan ketenagalistrikan jangka Panjang Indonesia dalam mencapai komitmen Net Zero Emission. Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk dapat menyediakan tenaga listrik dengan kualitas dan kuantitas yang baik dengan harga yang wajar dengan mengutamakan da penngkatan energi baru dan terbarukan. Dalam persepektif global, Indonesia juga termasuk negara yang mendukung penurunan emisi karbon di sektor energi dalam komitmen net zero emission. Komitmen ini menyebabkan perencanaan tenaga listrik Indonesia jangka panjang dapat berubah untuk dapat menyesuaikan target emisi yang ingin dihasilkan. Saat ini, bauran pembangkitan listrik masih didominasi oleh PLTU Batubara yang kaya emisi karbon. Pemilihan energi baru terbarukan yang dapat menggantikan batubara akan menjadi krusial. Energi Nuklir menjadi salah satu pilihan energi baru yang dapat mengurangi dampak lingkungan berupa emisi karbon secara signifikan. Riset akan melihat bagaimana peranan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dapat membantu perencanaan sistem tenaga listrik jangka panjang di Indonesia dalam memenuhi target komitmen net zero emission. Dampak penggunaan PLTN akan terlihat pada bauran energi pembangkitan, kapasitas ekspansi, biaya pokok pembangkitan dan total emisi yang dihasilkan oleh sektor listrik.

Keywords: PLTN, Long term energy planning, Net Zero Emission

Pendahuluan

Indonesia, sebagai sebuah negara dengan populasi penduduk terbesar keempat di dunia, akan membutuhkan energi dalam jumlah yang besar di masa depan. Pertumbuhan penduduk bertambah secara stabil sebesar 1,5% dalam periode 2010-2020[1]. Selain itu, Indonesia juga mengalami kestabilan peningkatan pertumbuhan ekonomi yang berkisar 5,28% pada periode yang sama[2]. Kedua hal ini menjadi alasan peningkatan kebutuhan listrik yang signifikan. Tenaga listrik merupakan salah satu elemen dasar yang dibutuhkan masyarakat untuk dapat meningkatkan kesejahteraan dan membuka peluang baru di bidang ekonomi. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik nasional, dibutuhkan sumber energi yang handal dan berkelanjutan. Tingginya ketergantungan bauran energi nasional untuk sektor tenaga listrik pada batubara yang menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang besar menjadi perhatian bagi masyarakat internasional. Indonesia diminta ikut berperan aktif dalam mendukung komitmen dunia untuk menciptakan sistem energi yang ramah lingkungan dan

menurunkan emisi GRK sebagaimana disepakati di dalam Paris Agreement di Tahun 2015[3]. Sektor energi terutama bidang ketenagalistrikan harus dapat menjawab tantangan untuk dapat mengurangi dampak lingkungan dengan menggunakan sumber-sumber energi bersih untuk menggantikan energi fosil seperti batubara. Kebijakan Energi Nasional pada PP Nomor 79 Tahun 2014 menyatakan bahwa kebijakan energi nasional mendukung pengelolaan energi yang berkeadilan, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan dengan tetap memperhatikan kemandirian dan ketahanan energi nasional[4]. Untuk mendukung hal ini, Pemerintah Indonesia menetapkan target bauran energi nasional untuk energi baru terbarukan sebesar 23% di tahun 2025 dan 31% di tahun 2050 sepanjang dapat terpenuhi keekonomiannya[5]. Pemenuhan energi baru terbarukan ke dalam sistem tenaga listrik menjadi sebuah tantangan tersendiri karena sebagian besar dari energi tersebut seperti surya dan angin memiliki kelemahan yaitu sifat intermittensi atau ketidakmampuan dari sumber energi tersebut untuk dapat dimanfaatkan secara stabil terus menerus. Sifat ini membuat energi baru terbarukan lebih

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis atau hasil-hasilnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dengan cara apapun dan untuk tujuan apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

sulit untuk dikendalikan di dalam sistem tenaga listrik dan faktor kapasitasnya menjadi rendah[6]. Pemerintah dapat mempertimbangkan alternatif lain melalui penggunaan energi nuklir sebagai energi baru untuk dapat menjaga keamanan pasokan energi nasional dan mengurangi emisi GRK lebih signifikan. Energi nuklir dapat menjadi pilihan terakhir dengan syarat faktor keselamatan harus dijaga secara ketat[7].

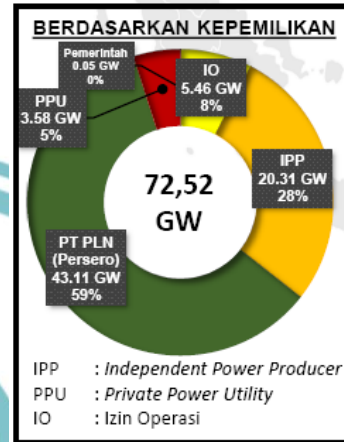
Melihat memenuhi kebutuhan energi terutama listrik yang lebih bersih dan ramah lingkungan dalam perspektif global, negara-negara di dunia menetapkan kesepakatan baru yang tertancup dalam Paris Agreement di tahun 2015 dalam kerangka United Nations Framework Convention on Climate Change. Kesepakatan ini mendorong setiap negara dapat berkontribusi untuk menurunkan dampak perubahan iklim secara signifikan termasuk di sektor energi berupa penurunan emisi yang setara kenaikan temperature global terbatas pada 1.5-2 derajat Celsius[8]. Indonesia ikut berkomitmen untuk menurunkan target penurunan emisi di sektor energi sebesar 214 MtCO₂ atau 398 MtCO₂ jika dengan dukungan finansial dari negara lain[9]. Kesepakatan ini dilanjutkan dengan komitmen baru untuk mencapai net zero carbon emission secara global. Net zero carbon emission adalah suatu kondisi dimana total emisi karbon tahunan yang berasal dari sektor energi, industri maupun penggunaan lahan bernilai nol secara kumulatif setelah dikurangi dengan kegiatan yang bernilai emisi negatif. Sektor ketenagalistrikan di Indonesia membutuhkan alternatif pilihan sumber energi yang dapat mengurangi nilai emisi secara signifikan untuk dapat memenuhi komitmen net zero carbon emission. pemanfaatan tenaga nuklir sebagai pembangkit listrik menjadi salah satu pilihan logis untuk dapat dikembangkan. Studi ini akan melihat bagaimana peran yang dapat dilakukan oleh tenaga nuklir didalam perencanaan ketenagalistrikan jangka panjang dalam mencapai target komitmen net zero emission.

Tinjauan Literatur

1. Overview Ketenagalistrikan Indonesia

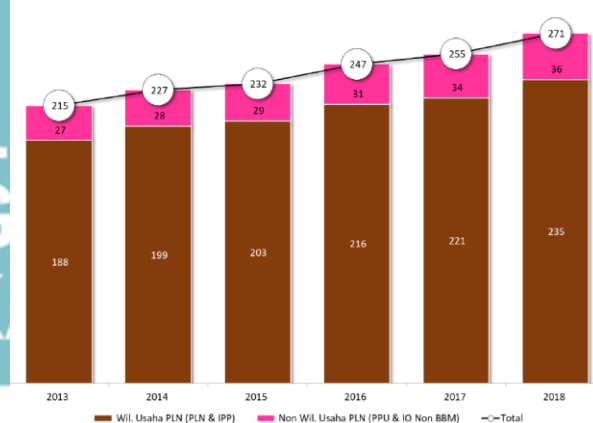
Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari 17,000 pulau dan populasi penduduk sebesar 208 juta jiwa[10]. Pertumbuhan kebutuhan listrik di Indonesia meningkat terus. Hingga akhir November 2020, total kapasitas terpasang pembangkit listrik dalam wilayah usaha PT PLN (Persero) sekitar 63,33 GW atau sekitar 87% dari total kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional, yang terdiri dari pembangkit listrik milik PT PLN (Persero) sekitar 43,11 GW (59%) dan pembangkit listrik milik IPP sekitar 20,31 GW (28%)[11]. Sisanya yaitu sekitar 3,58 GW (5%) merupakan pembangkit listrik milik badan usaha pemegang wilayah usaha selain PT PLN (Persero)/Private Power Utility (PPU), 5,46 GW

(8%) merupakan pembangkit milik pemegang Izin Operasi,



Gambar 2.1 Kapasitas Terpasang Berdasarkan Kepemilikan (Status November 2020)

Untuk konsumsi tenaga listrik, masih didominasi oleh wilayah usaha PT PLN (Persero). Berdasarkan data Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2019-2038, pada tahun 2018 total konsumsi tenaga listrik nasional adalah sekitar 271 TWh yang terdiri dari 235 TWh (86,7%) merupakan konsumsi tenaga listrik dalam wilayah usaha PT PLN (Persero) dan 36 TWh (13,3%) merupakan konsumsi tenaga listrik di luar wilayah usaha PT PLN (Persero)[12].



Gambar 2.2 Grafik Perkembangan Konsumsi Tenaga Listrik Nasional Berdasarkan Wilayah Usaha (TWh)

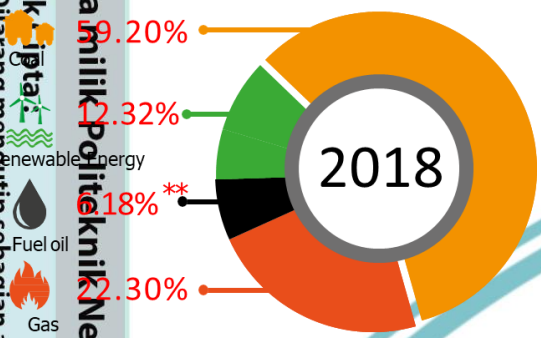
Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk menyediakan listrik dalam kuantitas dan kualitas yang baik serta harga yang wajar. Pemenuhan kebutuhan tenaga listrik di Indonesia akan mengoptimalkan energi local dengan prioritas peningkatan energi baru terbarukan. Pemerintah juga menetapkan kebijakan untuk menurunkan penggunaan bahan bakar minyak (BBM) di dalam pembangkitan tenaga listrik. Pada tahun 2018, bauran energi di pembangkitan tenaga listrik didominasi oleh batubara sebesar 59.20%, diikuti gas sebesar 22.30%,



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

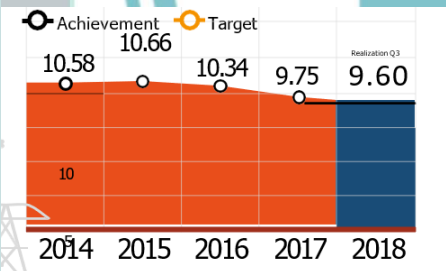
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya atau tulisan tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumbernya.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan saturnalasan.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Energi batubara sebesar 12.32% dan BBM sebesar 6.18% [11]



Gambar 2.3 Bauran Energi Pembangkitan Tenaga Listrik 2018

Indonesia juga berkomitmen untuk menurunkan rugi rugi penyaluran tenaga listrik dengan meningkatkan pengawasan pada pencurian tenaga listrik dan modernisasi peralatan sistem distribusi dan monitoring. Pada tahun 2018, rugi rugi penyaluran di Indonesia turun mencapai 9.60% dibandingkan 10.58% di tahun 2014 [11]



Gambar 2.3 Bauran Energi Pembangkitan Tenaga Listrik 2018

Perencanaan Ketenagalistrikan Jangka Panjang dan Komitmen NZE

Perencanaan sistem ketenagalistrikan jangka panjang akan melihat bagaimana kebutuhan tenaga listrik dapat dipenuhi oleh suplai pemangkitan tenaga listrik. Beberapa paper menjelaskan bagaimana perencanaan jangka panjang dilakukan seperti perencanaan peranan hydrogen dalam perencanaan sistem tenaga listrik di Jepang sampai tahun 2050 [13]. Paper ini menjelaskan bagaimana komitmen NZE di Jepang pada tahun 2050 mengakibatkan kenaikan biaya pembangkitan sampai 20-30 JPY/kWh dan peningkatan energi nuklir dapat menurunkan biaya tersebut. Paper lainnya menggunakan metode linear programming pada CPLEX di GAMS untuk menyusun perencanaan ketenagalistrikan di Saudi Arabia untuk mendukung transisi dari negara eksportir minyak menjadi negara yang bergantung pada pembangkit non fosil. Semakin tinggi pembangkit non

fosil yang dibangun akan menghemat banyaknya minyak yang dapat digunakan untuk ekspor Arab Saudi [14]. Paper lainnya mencoba melakukan perencanaan untuk dekarbonisasi di sektor pembangkitan tenaga listrik di Inggris dengan hasil komitmen NZE dapat terpenuhi dengan dominasi pembangkit non fosil berasal dari biomassa [15]. Untuk peranan tenaga nuklir dalam komitmen NZE bagi negara yang telah memiliki PLTN telah dilakukan di Inggris dengan hasil bahwa nuklir tidak perlu dikembangkan lebih jauh apabila penurunan emisi karbon dapat dipenuhi oleh energi terbarukan lainnya seperti angin dan surya [16]. Sedangkan untuk peranan nuklir pada negara yang belum memiliki tenaga nuklir seperti Indonesia saat ini belum ada analisis terkait peranannya dalam pemenuhan komitmen net zero emission.

3. Data dan Methodologi

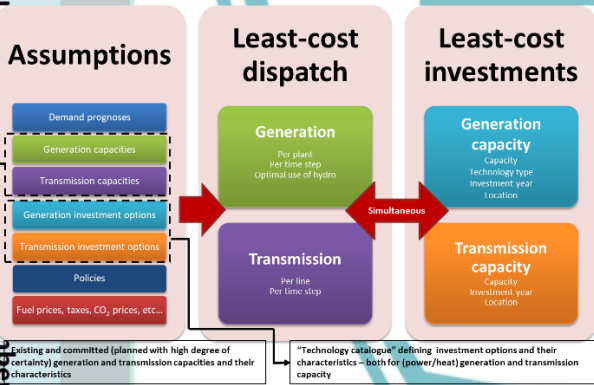
Paper ini akan mencoba untuk melihat bagaimana peran Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di dalam perencanaan ketenagalistrikan jangka panjang di dalam memenuhi komitmen Net Zero Emission bagi Indonesia. Perhitungan akan dilakukan untuk melihat berapa persentase energi nuklir di dalam bauran energi yang dibutuhkan untuk dapat memenuhi komitmen tersebut. Jangka waktu yang digunakan dalam perencanaan jangka panjang ini berada dalam periode 2020-2060. Model perencanaan tenaga listrik akan disusun berdasarkan data teknis pembangkit tenaga listrik, proyeksi kebutuhan tenaga listrik, harga bahan bakar, faktor emisi, potensi energi primer, regulasi dan intervensi kebijakan energi yang ditetapkan oleh Pemerintah. Terdapat beberapa asumsi utama yang digunakan didalam perhitungan ini yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Data	Sumber
Kapasitas Pembangkit Eksisting	Statistik Ketenagalistrikan [17]
Kebutuhan Tenaga Listrik	RUKN [12]
Harga Bahan Bakar	Statistik PLN 2020 [11]
Data Teknis dan Biaya Pembangkit	Indonesia Technology Data for Indonesia Power Sector 2021

Kebutuhan Tenaga listrik akan diambil berdasarkan nilai yang disusun di dalam RUKN 2019-2038 [12]. Nilai proyeksi pertumbuhan nantinya akan diteruskan sampai 2060 dengan menggunakan nilai pertumbuhan rata rata. Kebutuhan tenaga listrik pada tahun 2060 akan diproyeksikan meningkat sebesar tujuh kali lebih besar dibandingkan pada tahun 2019. Nilai kebutuhan tenaga listrik akan mencapai 1.851 TWh (2060) dengan pertumbuhan rata rata tahunan adalah sebesar 5%.

Data teknis dan biaya pembangkit yang akan dibangun di dalam perencanaan jangka panjang akan diambil dari Indonesia Technology Data For Indonesia Power Sector (ITD) yang disusun oleh Ditjen Ketenagalistrikan dan Badan Energi Denmark. Data yang akan digunakan berupa data efisiensi, umur, kapasitas tipikal, kemampuan ramping, data finansial, emisi yang dikeluarkan untuk masing masing jenis pembangkit dengan proyeksi perubahan nilai parameter yang akan terjadi sampai 2050.

Model ini akan menggunakan metodologi linear programming menggunakan model Balmorel untuk melihat optimasi kapasitas PLTN yang dapat dibangun di Indonesia untuk mencapai target net zero emission. Balmorel adalah sebuah model partial equilibrium untuk menghasilkan optimasi pada pembangkitan, transmisi dan konsumsi tenaga listrik dengan asumsi setiap pembangkit berkompetisi untuk menghasilkan biaya yang termurah (least cost)[18]. Model ini akan mencoba untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik dengan mengoptimalkan biaya pembangkit serendah mungkin namun tetap mengikuti batasan teknis dan kebijakan yang harus terpenuhi. Balmorel disusun dengan menggunakan sistem Bahasa GAMS (General Algebraic Modelling System) sebagai kerangka dasar model. Balmorel memiliki kemampuan yang fleksibel bergantung pada data yang digunakan[19]. Kerangka waktu yang dihasilkan dapat disusun dalam kerangka waktu per jam, minggu, bulan, dan tahun.



Struktur Inti Model Balmorel

Model dibagi menjadi empat buah struktur yaitu model input, pengujian pengoperasian dengan biaya termurah, pengujian investasi penambahan pembangkit dengan biaya termurah dan model output. Model input atau asumsi akan mengolah nilai nilai proyeksi dari kebutuhan tenaga listrik, harga bahan bakar, kapasitas terpasang pembangkit, nilai teknis pada masing masing pembangkit dan batasan kebijakan yang diperlukan. Pengujian pengoperasian dengan biaya termurah akan melihat komposisi pembangkitan dan penyaluran pembangkit dengan batasan yang ada. Selanjutnya pengujian tersebut dilakukan dengan optimasi simultan Bersama dengan

pengujian investasi penambahan pembangkit atau penyaluran yang dibutuhkan. Model output akan didapatkan dari hasil optimasi kedua pengujian tersebut diantaranya adalah besar kapasitas unit pembangkit, biaya pembangkitan didalam sistem, emisi pembangkit, bauran energi dan penyaluran daya didalam sistem.

Konsep linear programming pada Balmorel model akan disusun dengan fungsi tujuan adalah sebagai berikut:

$$\min, v_{obj} = \sum_{c,r,a,g,t} (C_{a,g,t}^{fuel} + C_{a,g,t}^{O\&M} + C_{a,r,g,t}^{inv} + C_{r,t}^{trans} + T_{c,g,t}^{ems}) \quad (1)$$

$C_{a,g,t}^{fuel}$: Biaya bahan bakar (USD/GJ)

$C_{a,g,t}^{O\&M}$: Biaya operasional tetap dan variable (USD/MWh)

$C_{a,r,g,t}^{inv}$: Biaya Investasi Pembangkit (USD/MW)

$C_{r,t}^{trans}$: Biaya Transmisi (USD/MW)

$T_{c,g,t}^{ems}$: Biaya Pajak Emisi (USD/MWh)

Nilai fungsi tujuan akan mencari nilai biaya terendah untuk biaya pembangkitan didalam sistem yang berupa biaya bahan bakar, operasional, investasi baru, transmisi, pajak emisi atau pajak lainnya yang akan di masukkan ke dalam model.

Terdapat beberapa batasan batasan teknis yang harus dipenuhi oleh model yang akan dibuat:

A. Batasan Kesetimbangan Suplai dan Beban

$$\sum_g G_{g,t}^e + \sum_x (1-lossx) X_{x,t}^{Import} = \sum_x X_{x,t}^{Export} + D_t^e \quad (2)$$

dimana :

$G_{g,t}^e$: Pembangkitan untuk masing masing teknologi di tahun t

$X_{x,t}^{Import}$: Impor Listrik pada tahun t

$X_{x,t}^{Export}$: Ekspor Listrik pada tahun t

D_t^e : Kebutuhan tenaga listrik pada tahun t

Pada batasan ini kumulatif pembangkitan yang dihasilkan oleh pembangkit didalam sistem dan kemungkinan impor listrik yang diambil dari luar sistem harus memiliki nilai yang sama dengan besarnya kebutuhan tenaga listrik dan kemungkinan ekspor listrik yang direncanakan.

B. Batasan Potensi Sumber Daya

$$\sum_{g-f,t} F_{g,t}^f \leq A_f \quad (3)$$

dimana :

$F_{g,t}^f$: Bahan bakar yang digunakan pembangkit

A_f : potensi ketersediaan bahan bakar

Pada batasan ini, pemakaian bahan bakar yang dapat digunakan oleh setiap pembangkit harus lebih rendah daripada potensi yang dimiliki



C. Batasan Emisi

$$W_w^{f,g,t} \leq T_w \quad (4)$$

• Faktor emisi bahan bakar

• Bahan Bakar yang digunakan pembangkit

• Target Emisi

Pada batasan ini, Nilai emisi yang berasal dari konsumsi bahan bakar yang digunakan pembangkit dan faktor emisi yang dihasilkan tidak boleh lebih besar dari pada target emisi yang ditetapkan didalam model. Emisi yang dihasilkan akan dibatasi berdasarkan komitmen Net Zero Emission yang akan dihasilkan oleh Indonesia.

Model ini akan disusun dengan beberapa skenario pengujian diantaranya.

- A. Skenario Business As Usual
- B. Skenario Net Zero Emission tanpa PLTN
- C. Skenario Net Zero Emission dengan PLTN

Expected Outcomes

Per ini diharapkan dapat menunjukkan peran dari PLTN dalam perencanaan ketenagalistrikan jangka panjang untuk mencapai target net zero emission. Pada per ini juga akan dihasilkan besar kapasitas PLTN yang dapat dipertimbangkan, kontribusinya terhadap aliran energi dan biaya pembangkitan sistem dan besar emisi yang bisa diturunkan dengan adanya kontribusi PLTN di dalam sistem tenaga listrik.

Daftar Acuan

M. E. Kaukab, "Indonesian Economic Outlook 2020: Peluang Dari Keterbukaan," *J. Penelit. Dan Pengabd. Kpd. Masy. UNSIQ*, vol. 7, no. 1, pp. 38–47, 2020.

[2] World Bank, "GDP per capita (current US \$)," *World Bank Database*, 2016.

[3] M. A. Zuhir, I. Nurlinda, A. D. Imami, and I. Idris, "Indonesia Pasca Ratifikasi Perjanjian Paris 2015; Antara Komitmen Dan Realitas," *Bina Huk. Lingkung.*, vol. 1, no. 2, pp. 231–248, 2017.

[4] R. Santoso, "Kebijakan Energi di Indonesia: Menuju Kemandirian," *J. Anal. Kebijak.*, vol. 1, no. 1, 2017.

[5] O. T. Winarno, Y. Alwendra, and S. Mujiyanto, "Policies and strategies for renewable energy development in Indonesia," 2016, pp. 270–272.

[6] H. B. Tambunan, A. A. Kusuma, and B. S. Munir, "Maximum Allowable Intermittent Renewable Energy Source Penetration in Java-Bali Power System," 2018, pp. 325–328.

[7] B. Santoso and P. Bureau, "National Roadmap for Nuclear Power Programme-INDONESIA," *IAEA Tech Meet Top Issues Dev Nucl Power Infrastruct*, 2017.

[8] J. Rogelj *et al.*, "Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C," *Nature*, vol. 534, no. 7609, pp. 631–639, 2016.

[9] D. Arinaldo, E. Mursanti, and F. Tumiwa, "Discussion Paper Juli 2019," p. 12.

[10] B. P. Statistik, "Sensus penduduk 2010," *Jkt. BPS*, 2010.

[11] P. Pln, "Statistik PLN 2020 Unaudited," *Sekr. Perusah. PT PLN Persero Jkt. ISSN*, no. 0852–8179, 2021.

[12] "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019-2038," *Kementeri. Energi Dan Sumber Daya Miner. Jkt.*, 2019.

[13] Y. Matsuo, S. Endo, Y. Nagatomi, Y. Shibata, R. Komiyama, and Y. Fujii, "A quantitative analysis of Japan's optimal power generation mix in 2050 and the role of CO2-free hydrogen," *Energy*, vol. 165, pp. 1200–1219, 2018.

[14] A. Farnoosh, F. Lantz, and J. Percebois, "Electricity generation analyses in an oil-exporting country: Transition to non-fossil fuel based power units in Saudi Arabia," *Energy*, vol. 69, pp. 299–308, 2014.

[15] M. Cossutta, D. C. Foo, and R. R. Tan, "Carbon emission spinch analysis (CEPA) for planning the decarbonization of the UK power sector," *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 25, pp. 259–270, 2021.

[16] J. Price, I. Keppo, and P. Dodds, "The role of new nuclear power in the UK's net-zero emissions energy system," *ArXiv Prepr. ArXiv210915173*, 2021.

[17] K. Energi and S. D. Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan 2017," *Dir. Jendral Ketenagalistrikan ESDM*, vol. 35, 2017.

[18] H. F. Ravn, J. Munksgaard, J. Ramskov, P. Grohnheit, and H. Larsen, "Balmorel: A model for analyses of the electricity and CHP markets in the Baltic Sea Region. Appendices," *Elkraft System*, 2001.

[19] F. Wiese *et al.*, "Balmorel open source energy system model," *Energy Strategy Rev.*, vol. 20, pp. 26–34, 2018.