

Peluang Dan Tantangan Menuju *Net Zero Emission* (NZE) Menggunakan *Variable Renewable Energy* (VRE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia

Rizky Ajie Aprilianto^{1*}, Rizki Mendung Ariefianto²

^{1*}Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

*Penulis Korespondensi:

email: rizkyajiea@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Program *Net Zero Emissions* (NZE) menjadi istilah populer setelah diadakannya *Paris Climate Agreement* tahun 2015. Program tersebut bertujuan untuk menekan pencemaran lingkungan yang berpotensi mengakibatkan pemanasan global. Energi menjadi salah satu sektor yang difokuskan dalam upaya mencapai program NZE. Berbagai negara telah mengeluarkan regulasi-regulasi baru dalam hal penyediaan energi listrik yang disesuaikan dengan program NZE. Regulasi tersebut ditegaskan pada penggantian operasi pembangkit listrik konvensional yang menggunakan batu bara seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Pembangkit tersebut kedepannya akan dihapuskan dan digantikan dengan pembangkit listrik berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT). Namun, berbagai tantangan dan dampak akan muncul akibat transisi penggunaan energi fosil ke energi EBT. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tantangan, dampak, dan kelayakan sistem ketenagalistrikan di Indonesia dalam melakukan transisi energi guna mencapai program NZE. Metode naratif literatur review digunakan untuk menganalisis informasi dan pustaka. Pengembangan pembangkit EBT yang logis menjadi langkah prioritas bagi Indonesia. Pengembangan tersebut seperti menambah komposisi *co-firing* pada PLTU sebelum masuk pada tahap *retired*, penambahan jumlah pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), dan pembangkit berbasis *Variable Renewable Energy* (VRE) pada *remote area* yang belum terhubung dengan jaringan listrik utama (*grid*). Ketersediaan EBT yang melimpah di Indonesia menjadi peluang yang dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk mencapai program NZE.

Kata Kunci: *Net Zero Emissions* (NZE); *Paris Climate Agreement*; Sistem Ketenagalistrikan Indonesia; *Variable Renewable Energy* (VRE)

PENDAHULUAN

Pengadaan energi listrik pada sistem pembangkit tidak terlepas dari isu-isu pencemaran lingkungan. Pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil seperti batu bara memberikan kontribusi yang cukup tinggi terhadap perusakan lingkungan. *Hazardous Trace Elements* (HTE) yang mencakup zat-zat berupa merkuri (Hg), seng (Zn), antimon (Sb), timbal (Pb), kadmium (Cd), kromium (Cr), mangan (Mn), dan barium (Ba) menjadi elemen berbahaya yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit listrik konvensional (Zhao *dkk.*, 2018). Proses pembakaran batu bara juga menghasilkan emisi berupa karbondioksida (CO₂) yang merupakan elemen dominan penyebab terjadinya Gas Rumah Kaca (GRK) (Dong *dkk.*, 2018).

Kenaikan suhu bumi akibat pemanasan global (*global warming*) dari GRK telah mendapat perhatian besar dunia. Hal ini diwujudkan dalam *Paris Climate Agreement*

pada tahun 2015 yang menyatakan bahwa pihak yang terlibat dalam perjanjian tersebut sepakat untuk menjaga peningkatan suhu rata-rata bumi jauh di bawah 2° C di atas tingkat pra-industri, dan untuk mengejar upaya membatasi kenaikan suhu lebih jauh ke 1,5° C (Pasal 2) (UNFCCC, 2015). Upaya dari perjanjian Paris ini mengerucut pada program *Net Zero Emissions* (NZE) atau nol bersih emisi.

Program NZE mewajibkan para negara industri dan negara maju untuk mencapai nol bersih emisi pada 2050. Adanya program NZE mendorong regulasi-regulasi baru di berbagai negara yang berkaitan dengan penyediaan energi listrik. Pembangkit listrik konvensional yang menggunakan bata bara seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi fokus utama dalam pengaturan kebijakan baru yang disesuaikan dengan program NZE. Hal ini dikarenakan PLTU menghasilkan emisi CO₂ dan pengoperasiannya sebagai pembangkit *base load* masih mendominasi sistem ketenagalistrikan di berbagai negara, salah satunya Indonesia (Rahma & Imzastini, 2018).

Arah kebijakan sistem ketenagalistrikan Indonesia yang mengacu pada *Paris Climate Agreement* mendorong pemerintah untuk terus berinovasi dalam menyediakan energi listrik nasional. Inovasi tersebut mempertimbangkan aspek-aspek pada program NZE sehingga tidak berdampak pada pencemaran lingkungan. Pemerintah pada dasarnya telah melakukan berbagai langkah untuk menyelaraskan antara penyediaan energi nasional dengan program NZE, salah satunya yakni rencana untuk memulai pengoperasian PLTN di tahun 2040. Selain itu, pembangkit berbasis *Variable Renewable Energy* (VRE) seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) juga menjadi prioritas dalam pengembangan sistem kelistrikan nasional. Potensi energi surya dan energi angin yang besar menjadi kekuatan yang dimiliki Indonesia untuk mengembangkan pembangkit listrik berbasis VRE.

Pada penelitian ini, konsep baru tentang penyediaan energi listrik menggunakan VRE untuk menggantikan pembangkit listrik berbasis energi fosil seperti PLTU tidak diusulkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tantangan, dampak dan mengevaluasi kelayakan sistem ketenagalistrikan Indonesia untuk melakukan transisi energi guna mewujudkan program NZE. Metode naratif literatur *review* digunakan untuk menganalisis informasi dan pustaka yang digunakan. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini berupa analisis yang komprehensif terkait faktor-faktor implementasi NZE di Indonesia. Penelitian ini sekaligus dapat menjadi referensi dalam menentukan arah dan kebijakan penyediaan energi listrik nasional yang relevan dengan kondisi kelistrikan Indonesia di masa depan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah naratif literatur *review* yang objektif sebagai acuan dalam melakukan kajian pustaka. Tahapan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan informasi dan literatur, analisis informasi, serta penulisan *review*. Informasi dan literatur yang digunakan sesuai dengan topik yang dibahas yaitu tentang program NZE menggunakan VRE pada sistem ketenagalistrikan di Indonesia. Pembahasan tentang program tersebut diawali dengan *International Benchmarking*, yakni membandingkan strategi beberapa negara lain yang telah menjalankan program NZE dan

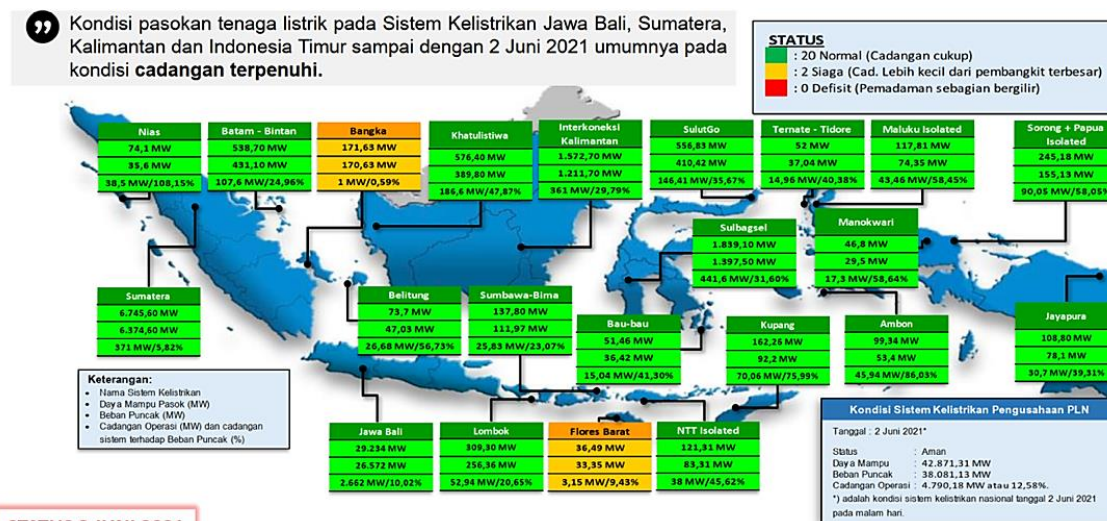
transisi menuju pemanfaatan energi terbarukan. Selanjutnya, uraian tantangan yang akan dihadapi dalam perencanaan sistem ketenagalistrikan dan implementasi program NZE juga dijelaskan secara rinci.

Program NZE secara bertahap akan memangkas pengoperasian PLTU sebagai pembangkit *base load*. Pada penelitian ini, diuraikan juga tantangan yang akan dihadapi jika menerapkan sistem ketenagalistrikan tanpa PLTU. Dampak dari transisi energi dan mitigasi penggantian PLTU dengan pembangkit listrik berbasis VRE dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan program NZE. Evaluasi tersebut difokuskan pada sistem Jawa-Madura-Bali sebagai sistem kelistrikan dengan beban puncak terbesar di Indonesia. Selanjutnya, analisis secara keseluruhan tentang kelayakan implementasi program NZE pada sistem ketenagalistrikan di Indonesia juga dibahas secara obyektif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Sistem Kelistrikan Indonesia

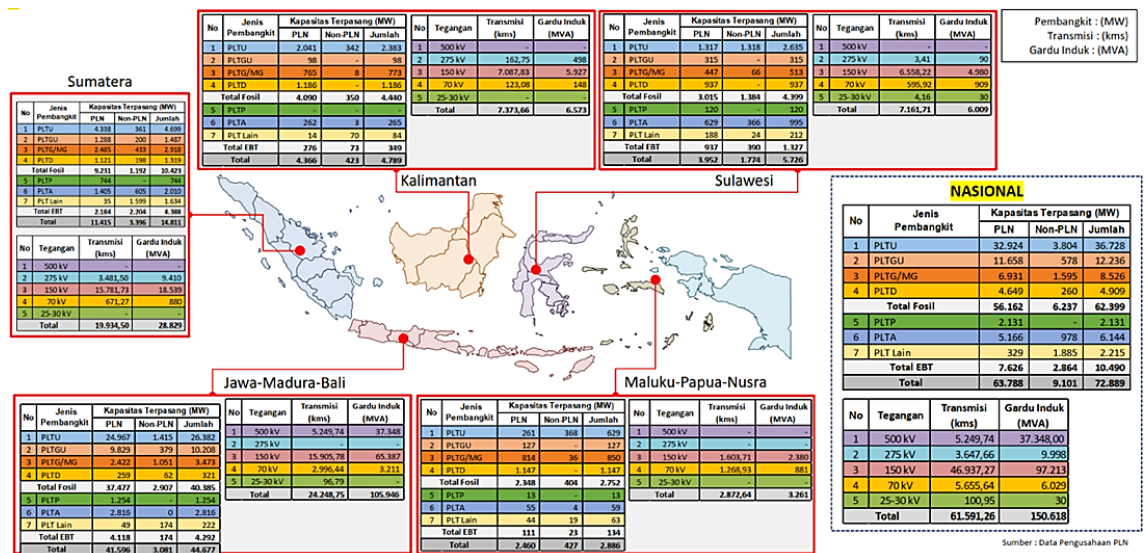
PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2018 – 2027 menyebutkan bahwa realisasi penjualan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan terhitung sejak tahun 2011. Peningkatan penjualan tersebut juga diiringi dengan jumlah pelanggan yang terus bertambah (ESDM, 2018). Jumlah pelanggan yang bertambah berdampak pada beban kelistrikan nasional yang terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Kondisi tersebut mengharuskan pemerintah untuk memastikan ketersediaan pasokan energi listrik nasional yang dapat mencukupi kebutuhan beban. Gambar 1 menunjukkan kondisi pasokan energi listrik di Indonesia berdasarkan cadangan sistem operasi yang tercatat hingga 2 Juni 2021.



Gambar 1. Kondisi Beban Kelistrikan Indonesia Berdasarkan Cadangan Sistem Operasi (ESDM, 2021)

Kebutuhan energi listrik di Indonesia diperkirakan akan terus mengalami peningkatan kedepannya. Hal ini juga selaras dengan target pemerintah untuk merealisasikan 100% rasio elektrifikasi di Indonesia. Kebutuhan energi listrik yang meningkatkan pada dasarnya harus diiringi dengan kapasitas dan kemampuan

pembangkit dalam menghasilkan energi listrik. Pembangkit-pembangkit listrik di Indonesia harus direncanakan secara matang untuk mengantisipasi terjadinya peningkatan kebutuhan energi listrik. Gambar 2 menunjukkan peta sebaran dan kapasitas terpasang eksisting pembangkit energi listrik di Indonesia terhitung hingga bulan April tahun 2021.



Gambar 2. Peta Sebaran dan Kapasitas Eksisting Pembangkit Energi Listrik di Indonesia (ESDM, 2021)

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa penyediaan energi listrik di Indonesia berasal dari PLN dan juga Non-PLN. Total keseluruhan pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi menggunakan energi fosil yakni mencapai 62.399 MW. Sedangkan pemanfaatan sumber EBT baru sebesar 10.490 MW. Kondisi kelistrikan yang masih didominasi penggunaan energi fosil tersebut selanjutnya ditindaklanjuti oleh Direktur Jenderal Ketenagalistrikan melalui skema pemodelan untuk mencapai program NZE. Tindakan mitigasi yang akan dilakukan meliputi:

1. Kebijakan anggaran untuk subsidi bahan bakar yang dialihkan ke kegiatan produktif seperti infrastruktur;
2. Kebijakan bauran energi terbarukan yang ditargetkan 23% dari total campuran energi primer nasional pada tahun 2025;
3. Kebijakan *Waste to Energy* (WtE).

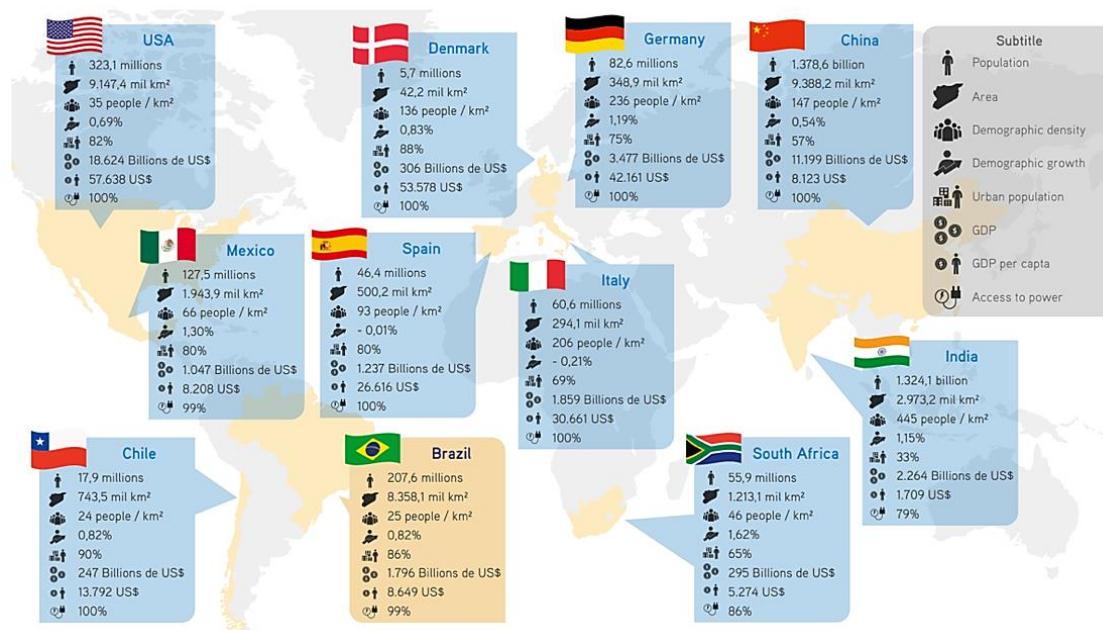
Tindakan mitigasi yang akan dilakukan tersebut pada dasarnya bertujuan untuk menyelaraskan antara penyediaan energi listrik nasional dengan program NZE. Pengalihan anggaran subsidi bahan bakar akan dialokasikan untuk infrastruktur, salah satunya dapat digunakan untuk pembangunan pembangkit listrik berbasis EBT maupun VRE. Langkah tersebut sekaligus menjadi upaya mewujudkan bauran energi terbarukan di Indonesia melalui skema penambahan jumlah pembangkit listrik. Kemudian untuk kebijakan WtE, yakni pemanfaatan limbah untuk menghasilkan energi yang dapat dilakukan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Nurdiansah dkk, 2020). Berdasarkan upaya mitigasi yang telah direncanakan tersebut, kajian mengenai tantangan dan dampak yang akan dihadapi Indonesia dalam menjalankan transisi energi perlu terus

dilakukan. Hal ini sekaligus menjadi langkah strategis untuk mengevaluasi kelayakan sistem ketenagalistrikan di Indonesia dalam mewujudkan program NZE.

B. *International Benchmarking: Strategi Dalam Mewujudkan Transisi Energi*

Merujuk pada *Paris Climate Agreement* tahun 2015, terdapat 195 perwakilan negara-negara pada konferensi yang membahas tentang perjanjian tersebut. Persetujuan dari perjanjian Paris ditandatangani pada tanggal 22 April 2016 di New York, Amerika Serikat sekaligus bertepatan pada Hari Bumi. Berbagai negara yang terlibat dalam perjanjian Paris sepakat untuk melakukan transisi dari penggunaan energi fosil menuju energi yang lebih ramah lingkungan. Transisi tersebut salah satunya difokuskan pada sistem ketenagalistrikan di tiap negara. Setiap negara memiliki strategi dan upaya berbeda dalam mewujudkan transisi energi guna mencapai program NZE di tahun 2050.

Laporan *International Benchmarking* (GIZ, 2018) telah merilis sepuluh negara terpilih yang telah melakukan praktik ekspansi pembangkitan energi listrik bersumber dari energi terbarukan. Negara-negara tersebut diantaranya Afrika Selatan, Jerman, Chili, Cina, Denmark, Spanyol, Amerika Serikat, India, Italia, dan Meksiko. Aspek yang dibandingkan antar negara meliputi keadaan sosial ekonomi, profil energi, konsumsi per kapita, dan emisi. Gambar 3 menunjukkan karakteristik dari sepuluh negara terpilih.



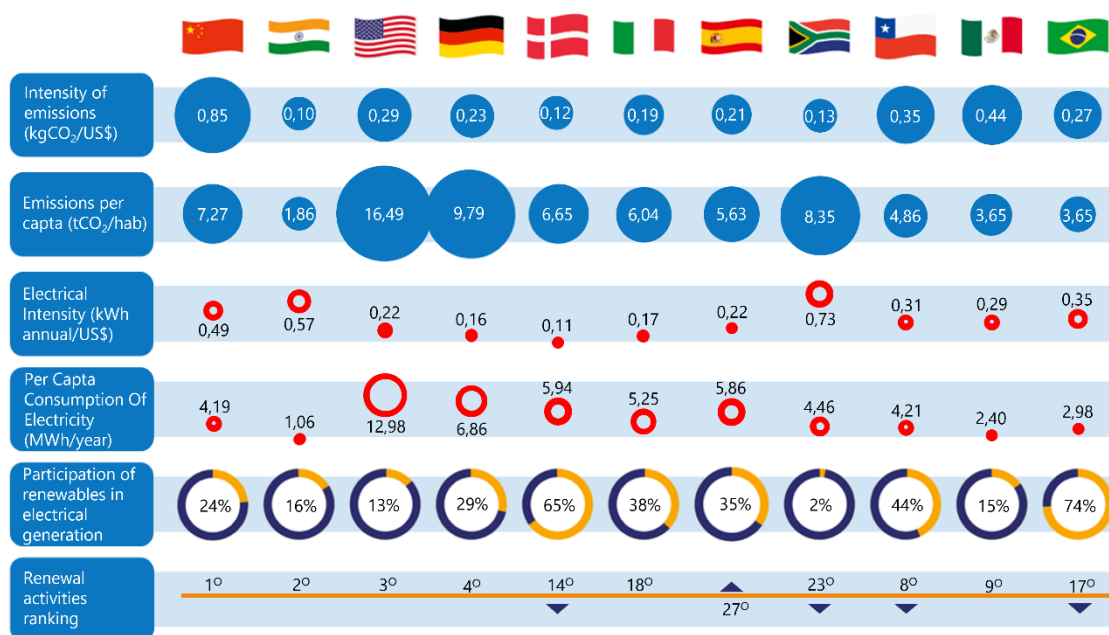
Gambar 3. Karakteristik Sepuluh Negara Terpilih (GIZ, 2018)

Laju pertumbuhan penduduk di antara sepuluh negara terpilih sangat bervariasi. Pertumbuhan penduduk dan indikator ekonomi seperti Pertumbuhan Domestik Bruto (PDB) merupakan faktor yang dapat menekan permintaan energi listrik. India, Jerman, Meksiko dan Afrika Selatan mengalami percepatan pertumbuhan penduduk. Sedangkan untuk Italia dan Spanyol cenderung stagnan bahkan mengalami penurunan populasi masing-masing berkisar 0,21% dan 0,01% antara tahun 2015 dan 2016. Kemudian untuk negara yang berstatus maju dengan 100% akses kelistrikan (elektrifikasi) akan cenderung menggunakan energi yang lebih bersih sekaligus sebagai langkah untuk mengurangi

emisi GRK. Namun, perlu ditegaskan bahwa target pengurangan emisi GRK bersifat wajib bagi negara-negara anggota. Sedangkan target bauran energi terbarukan yang ditetapkan dalam rencana masing-masing negara merupakan sebuah perkiraan kontribusi yang dapat diusulkan.

Negara-negara yang menjadi bagian Uni Eropa berdasarkan *Nationally Determined Contribution* (NDC) disebutkan bahwa untuk mencapai target NDC, Uni Eropa memiliki sejumlah undang-undang dan peraturan internal yang bertujuan untuk menetapkan target tahunan tentang emisi GRK. Peraturan tersebut diharapkan dapat meningkatkan investasi berkelanjutan dalam energi terbarukan sehingga pangsa EBT di sektor kelistrikan dapat meningkat dari yang awalnya 21% menjadi setidaknya 45% pada tahun 2030. Kebijakan di negara Jerman, Spanyol, Denmark, dan Italia sepakat untuk menargetkan penggunaan 20% sumber energi terbarukan dari total konsumsi energi bruto final Uni Eropa tahun 2020, dan 27% energi terbarukan pada tahun 2030.

Keberadaan sumber EBT yang dimiliki setiap negara menjadi faktor penting dalam membandingkan regulasi antar negara. Hal ini dikarenakan keberadaan EBT berguna untuk menentukan strategi dan meninjau relevansi terhadap arah kebijakan energi yang akan diberlakukan. Profil energi masing-masing sepuluh negara terpilih selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil Energi Sepuluh Negara Terpilih (GIZ, 2018)

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa penetrasi energi terbarukan pada sistem ketenagalistrikan terbesar dimiliki oleh Brazil, yaitu sebesar 74%. Energi terbarukan di Brazil didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan biodiesel dari bahan bakar nabati. Jika dibandingkan dengan penetrasi EBT di Indonesia, nilai yang diperoleh baru mendekati Mexico, yakni sekitar 14,39%. Strategi dalam mewujudkan transisi energi untuk mencapai program NZE masing-masing negara pada dasarnya disesuaikan dengan kebijakan yang berlaku di negara tersebut. Kebijakan yang dibuat memperhatikan aspek-aspek seperti sosial ekonomi dan ketersediaan EBT yang

dimiliki. Sedangkan untuk pemanfaatan EBT yang bersifat *variable* seperti surya dan angin lebih menitikberatkan pada kondisi geografis.

C. Tantangan Perencanaan Sistem Ketenagalistrikan untuk Menuju *Net Zero Emission* (NZE)

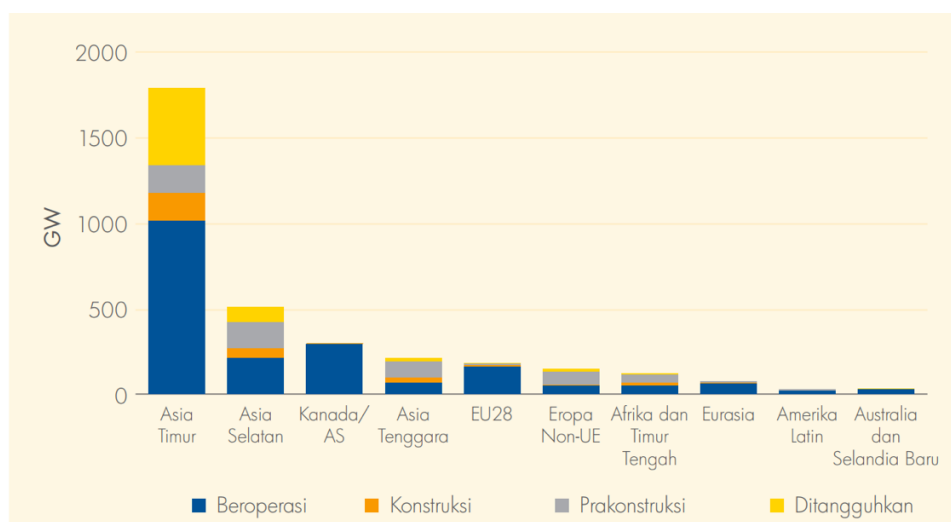
Upaya yang dilakukan untuk mencapai NZE membutuhkan proses yang bertahap dengan durasi waktu yang panjang. Transisi menuju NZE juga harus memperhatikan faktor-faktor seperti energi listrik yang dibutuhkan dan potensi energi terbarukan yang dimiliki, neraca perdagangan, serta kesiapan infrastruktur kelistrikan. Investasi dengan jumlah dana yang besar juga harus dipertimbangkan untuk mempersiapkan sistem ketenagalistrikan menuju NZE. Dana tersebut digunakan untuk transisi energi fosil menjadi energi terbarukan, pengadaan infrastruktur pendukung, dan juga menyiapkan sumber daya manusia yang memiliki keterampilan tinggi.

Dana tambahan juga masih diperlukan agar potensi EBT yang dimiliki masing-masing negara dapat dimanfaatkan secara maksimal. Pemanfaatan tersebut dapat dilakukan seperti menyediakan kebutuhan penyimpanan daya yang handal menggunakan baterai jika sistem yang dibuat *off-grid*, atau menyiapkan generator cadangan jika sistem yang dibuat bersifat *on-grid*. Selain itu, keterbatasan sistem jaringan dalam menyerap listrik dari pembangkit EBT menjadi tantangan yang harus dihadapi. Nilai investasi yang besar dibutuhkan untuk meningkatkan fleksibilitas dan keandalan sistem jaringan listrik. Berdasarkan kondisi tersebut, maka ketersediaan teknologi murah yang disesuaikan dengan potensi EBT masing-masing negara sangat dibutuhkan untuk menciptakan sistem ketenagalistrikan yang handal guna mencapai program NZE.

D. Tantangan Penerapan Sistem Ketenagalistrikan Tanpa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Berdasarkan data inventori Kementerian ESDM tahun 2015, jumlah emisi GRK Indonesia pada sektor pembangkit mencapai 175,6 juta ton-CO₂ atau 67% dari total emisi GRK di sektor energi. Sedangkan emisi GRK dari PLTU batu bara sebesar 122,5 juta ton-CO₂ atau 70% dari total emisi GRK yang dihasilkan dari proses pembangkitan energi listrik (Febijanto, 2020). Nilai tersebut diperkirakan akan terus mengalami peningkatan mencapai 3,9% di tahun 2030 sehingga berpotensi meningkatkan risiko kenaikan suhu global (Widyaningsih, 2018). Dominasi batu bara pada sistem PLTU menjadi tantangan awal yang harus diselesaikan untuk menuju NZE. Gambar 5 menunjukkan eksistensi penggunaan batu bara sebagai bahan bakar pembangkit listrik di berbagai kawasan.

Penghapusan (*retired*) PLTU pada sistem ketenagalistrikan suatu negara tidak menjadi solusi yang tepat sepenuhnya. Hal ini didasari atas peranan PLTU yang sangat dominan di berbagai negara (Li *dkk.*, 2016) Disisi lain, durasi transisi energi yang singkat menjadi tantangan yang harus diperhatikan karena harus menyiapkan berbagai infrastruktur yang siap menggantikan PLTU. Saat ini, solusi yang logis dari penggantian PLTU bukan terletak pada infrastruktur kelistrikannya melainkan pada jenis bahan bakar yang digunakan. Skema *co-firing* dengan cara mencampurkan kandungan biomassa pada batu bara sebagai bahan bakar PLTU menjadi langkah tepat yang dilakukan.



Gambar 5. Penggunaan Batu Bara Sebagai Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik (Shell Company, 2018)

Studi terkait *co-firing* juga terus dilakukan oleh peneliti, baik dari komposisi kandungan bahan bakar (Chang dkk., 2019; Cahyo dkk., 2020) maupun dari teknologi pembangkitan yang digunakan (Hoang dkk., 2019; Xu dkk., 2020). Beberapa PLTU khususnya yang berada di Indonesia dan telah menerapkan skema *co-firing* meliputi PLTU Paiton (2 x 400 MW) yang menggunakan rasio bahan bakar biomassa sebanyak 1% dari suplai energi batu bara. Selanjutnya, PLTU Jeranjang yang menggunakan pelet sampah organik dan limbah biomassa lainnya untuk campuran *co-firing* sebanyak 3% dari suplai bahan bakar batu bara.

Berdasarkan kesuksesan yang telah dicapai PLTU Paiton dan PLTU Jeranjang, maka PLN berencana untuk mengimplementasikan skema *co-firing* pada 52 unit PLTU lainnya dengan total kapasitas mencapai 18.184 MW. Rencana implementasi *co-firing* akan dilakukan dengan mencampurkan biomassa sebanyak 5% dari suplai batu bara yang digunakan (Febijanto, 2020). Penelitian selanjutnya terkait penyesuaian kandungan biomassa yang dominan perlu dilakukan agar emisi CO₂ dari aktivitas PLTU dapat berkurang secara signifikan.

E. Dampak dan Upaya Mitigasi Penggantian PLTU dengan Pembangkit Berbasis *Variable Renewable Energy (VRE)*

Sistem ketenagalistrikan yang masih bertumpu pada PLTU menjadi topik riset yang banyak diteliti untuk menemukan skema terbaik penggantian PLTU dengan pembangkit listrik yang lain. Telah disebutkan sebelumnya bahwa solusi yang logis dari penggantian PLTU saat ini bukan terletak pada infrastruktur kelistrikannya, melainkan pada jenis bahan bakar yang digunakan. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi yang pesat tidak menutup kemungkinan PLTU sepenuhnya dapat tergantikan oleh pembangkit listrik yang ramah lingkungan seperti PLTS maupun PLTB.

Guna mewujudkan program NZE di tahun 2060 atau lebih cepat dengan bantuan internasional, pemerintah Indonesia secara khusus menargetkan pengembangan proyek pembangkit listrik berbasis energi terbarukan hingga 38 MW pada tahun 2035. PLTS dan PLTB yang berbasis VRE, yakni sumber energi terbarukan yang tidak dapat dikendalikan

karena bersifat fluktuatif, menjadi pembangkit yang fokus dikembangkan di Indonesia. Hal ini dikarenakan Indonesia berada di garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi EBT yang melimpah (Arief dkk., 2020). Tabel 1 menunjukkan rincian potensi energi baru dan terbarukan yang dimiliki Indonesia.

Tabel 1. Potensi Energi Baru dan Terbarukan Indonesia (ESDM, 2018)

No	Jenis Energi	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)	Pemanfaatan (%)
1	Surya	207.898	78,5	0,04
2	Angin	60.647	3,1	0,01
3	Hidro	75.091	4.826,7	6,40
4	Mini-mikrohidro	19.385	197,4	1,00
5	Bioenergi	32.654	1.671	5,10
6	Panas Bumi	29.544	1.438,5	4,90
7	Gelombang Laut	17.989	0,3	0,002

Meninjau potensi yang besar tersebut, Indonesia memiliki sumber daya yang melimpah untuk mengembangkan sistem pembangkit listrik berbasis EBT. Namun pada faktanya, sistem kelistrikan Indonesia masih di dominasi menggunakan PLTU. Sistem Jawa-Madura-Bali merupakan wilayah dengan beban puncak terbesar di Indonesia. PLTU yang beroperasi di sistem Jawa-Madura-Bali bahkan mencapai 26.382 MW dari total kapasitas nasional sebesar 36.728 MW. PLTU tersebut digunakan sebagai pembangkit *base load* dan mendominasi suplai energi listrik kepada para pelanggan.

Penggantian PLTU sebagai pembangkit *base load* di wilayah Jawa-Madura-Bali akan berdampak pada kestabilan dan keandalan sistem di wilayah tersebut. Beban puncak yang tinggi mengharuskan pembangkit mampu menghasilkan listrik selama 24 jam untuk mencukupi kebutuhan beban. Hal ini tentu beresiko jika menggantikan PLTU di wilayah Jawa-Madura-Bali dengan pembangkit listrik berbasis VRE seperti PLTS dan PLTB. Keberadaan energi surya di Pulau Jawa hanya berkisar 4,5 kWh/m²/hari dan tidak setinggi Indonesia bagian timur yang mencapai 5,1 kWh/m²/hari (Winanti & Purwadi, 2018). Usulan mitigasi yang dapat dilakukan untuk menggantikan PLTU di wilayah Jawa-Madura-Bali yakni dengan *sharing resources* di tempat lain. Namun, skenario ini membutuhkan *super grid* yang dapat menghubungkan sistem transmisi baru antar pulau dengan menelan biaya investasi yang tinggi. Konsep jaringan *super grid* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Konsep Jaringan *Super Grid* Penghubung Transmisi Jaringan Listrik Antar Pulau di Indonesia (ESDM, 2021)

F. Analisis Kelayakan Program Menuju *Net Zero Emission* (NZE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia

UU No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement* menjadi tindak lanjut Indonesia untuk berkomitmen menurunkan emisi GRK pada tahun 2030 sebesar 29% dengan kemampuan sendiri, dan sampai dengan 41% melalui bantuan internasional (Ditjen PPI MENLHK, 2016). Upaya yang dilakukan untuk merealisasikan rencana tersebut salah satunya dengan menyesuaikan arah kebijakan sistem ketenagalistrikan di Indonesia. Kebijakan-kebijakan yang telah dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia pada dasarnya bertujuan untuk mencapai program NZE. Kebijakan yang dibuat telah disesuaikan dengan kondisi Indonesia baik dari aspek sosial ekonomi maupun ketenagalistrikan. Kebijakan tersebut dirancang dengan memperhatikan tahap demi tahap agar selaras antara penyediaan energi listrik nasional dengan pencapaian program NZE sebagai realisasi perjanjian Paris yang disahkan melalui UU No. 16 Tahun 2016.

Konferensi pers mengenai perkembangan dan arah kebijakan subsektor ketenagalistrikan di Indonesia yang disampaikan oleh Direktur Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tanggal 4 Juni 2021 menyatakan bahwa terdapat dua skenario komposisi produksi listrik nasional tahun 2021 – 2060 (ESDM, 2021). Secara umum, kedua skenario tersebut akan menghapuskan (*retired*) PLTU dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) sesuai usianya masing-masing, yakni pada tahun 2058 dan 2054. Tidak ada penambahan PLTU baru kecuali yang telah melakukan kontrak atau konstruksi. Selanjutnya, mulai tahun 2031 tidak ada pembangunan pembangkit listrik berbasis energi fosil kecuali yang dikombinasikan dengan teknologi *Coal Capture Storage* (CCS). PLTU akan digantikan oleh pembangkit yang menggunakan energi baru seperti Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

PLTU sebagai penyumbang emisi GRK terbesar pada sistem pembangkit listrik masih menjadi *base load* di Indonesia. Skenario penghapusan (*retired*) PLTU telah

tertuang dalam paparan Direktur Jenderal Ketenagalistrikan tentang perkembangan dan arah kebijakan subsektor ketenagalistrikan di Indonesia. Namun berdasarkan kajian yang telah dilakukan, mengganti komposisi bahan bakar PLTU dengan skema *co-firing* dinilai lebih tepat karena murah dan lebih cepat terlaksana dibandingkan dengan cara moratorium maupun keluar secara bertahap (*phase out*) dari pengoperasian PLTU (Febijanto, 2020).

Pembangunan jaringan *super grid* juga dinilai belum sepenuhnya menjadi solusi yang tepat untuk diterapkan di Indonesia. Hal ini dikarenakan kondisi geografis Indonesia yang berupa negara kepulauan. Pembangunan pembangkit listrik berbasis VRE tetap dapat dilakukan namun difokuskan pada daerah yang memiliki potensi diatas rata-rata seperti Indonesia bagian timur. Pembangkit listrik berbasis VRE seperti PLTS dan PLTB juga dapat menjadi solusi kelistrikan untuk *remote area* di Indonesia. Sedangkan untuk wilayah Pulau Jawa, pemanfaatan EBT dapat ditekankan pada energi panas bumi yang berasal dari gunung-gunung berapi, khususnya pada daerah yang dilewati *ring of fire*. Energi panas bumi di Indonesia yang mencapai 29.544 MW namun baru digunakan sebesar 4,9%. Jumlah tersebut mengindikasikan bahwa pemanfaatan yang dilakukan belum maksimal. Potensi-potensi EBT yang dimiliki Indonesia jika dapat dimanfaatkan secara maksimal, akan menjadi sebuah peluang untuk menghadapi tantangan dalam mewujudkan program NZE.

KESIMPULAN

Perencanaan sistem ketenagalistrikan menuju program NZE menghadapi beberapa tantangan seperti seberapa besar potensi energi terbarukan yang dimiliki, dana investasi yang besar, neraca perdagangan, dan kesiapan infrastruktur kelistrikan meliputi keandalan sistem jaringan dan fleksibilitas yang tinggi. Dominasi batu bara pada sistem PLTU juga menjadi tantangan awal yang harus diselesaikan untuk menuju NZE. Solusi yang logis dari penggantian PLTU saat ini bukan terletak pada infrastruktur kelistrikannya, melainkan pada jenis bahan bakar yang digunakan. Batu bara dapat dikombinasikan dengan biomassa melalui skema *co-firing* untuk menekan pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari pengoperasian PLTU.

Penggantian PLTU menggunakan pembangkit berbasis VRE pada sistem kelistrikan Jawa-Madura-Bali juga berpotensi mengganggu kestabilan dan keandalan sistem di wilayah tersebut. Hal ini dikarenakan sifat VRE yang tidak bisa dikendalikan dan fluktuatif. Skenario *sharing resources* dengan wilayah lain yang memiliki EBT tinggi juga membutuhkan sebuah *super grid*. Konsep *super grid* yaitu dengan menghubungkan sistem transmisi baru antar pulau namun akan menelan biaya investasi yang tinggi. Meninjau kondisi tersebut, maka pemanfaatan EBT di Pulau Jawa dapat diprioritaskan dengan menggunakan energi panas bumi yang berasal dari gunung-gunung berapi. Secara keseluruhan, kebijakan yang telah dibuat tentang sistem ketenagalistrikan Indonesia mencerminkan keadaan dan ketersediaan EBT yang dimiliki. Kebijakan tersebut telah disesuaikan untuk mendukung program NZE.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah membiayai studi penulis di jenjang pascasarjana.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, A., Nappu, M. B., & Rachman, S. M. (2020). Photovoltaic Allocation with Tangent Vector Sensitivity. *International Journal on Energy Conversion*, 8(3), 71–81.
- Cahyo, N., Alif, H. H., Saksono, H. D., & Paryanto, P. (2020). Performance and emission characteristic of co-firing of wood pellets with sub-bituminous coal in a 330 mwe pulverized coal boiler. *2020 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, 17–21.
- Chang, C. C., Chen, Y. H., Chang, W. R., Wu, C. H., Chen, Y. H., Chang, C. Y., Yuan, M. H., Shie, J. L., Li, Y. S., Chiang, S. W., Yang, T. Y., Lin, F. C., Ko, C. H., Liu, B. L., Liu, K. W., & Wang, S. G. (2019). The emissions from co-firing of biomass and torrefied biomass with coal in a chain-grate steam boiler. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(12), 1467–1478.
- Ditjen PPI MENLHK. (2016). *Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change*. http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/resources/parisagreement/UUNo_6_Tahun_2016_Ratifikasi_PA.pdf.
- Dong, F., Hua, Y., & Yu, B. (2018). Peak carbon emissions in China: Status, key factors and countermeasures-A literature review. *Sustainability*, 10(8), 2895.
- ESDM. (2018). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2018 – 2027*. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/3fa53-ruptl-pln-2018-2027.pdf.
- ESDM. (2021). *Konferensi Pers Perkembangan dan Arah Kebijakan Subsektor Ketenagalistrikan*. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/44abb-210604-bahan-konferensi-pers-media.pdf.
- Febijanto, I. (2020). *Co-firing PLTU Batubara dan Permasalahan yang Dihadapi*. <https://ppipe.bppt.go.id/index.php/artikel/193-co-firing-pltu-batubara-dan-permasalahan-yang-dihadapi>.
- GIZ. (2018). *Executive summary International Benchmarking Expansion of Generation of Electric Power from Renewable Sources*. <https://www.giz.de/de/downloads/Coord%20Audit%20Renew%20Energies%20-%20Benchmarking%20Report%20ENG%20v12.2018.pdf>.
- Hoang, A., Nguyen, T., & Nguyen, M. (2018). Experimental Verification of Electrostatic Precipitator Stable Operation Under Oil and Co-fuel Firing Conditions of a Coal-fired Power Plant. In *2018 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)* (pp. 1–5). IEEE.

- Li, J., Yu, X., Wang, J., & Huang, S. (2016). Coupling performance analysis of a solar aided coal-fired power plant. *Applied Thermal Engineering*, 106, 613–624.
- Nurdiansah, T., Purnomo, E. P., & Kasiwi, A. (2020). Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Sebagai Solusi Permasalahan Sampah Perkotaan; Studi Kasus di Kota Surabaya. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 12(1), 87–92.
- Rahma, H., & Imzastini, N. Q. (2018). Steam Electricity Power Plant (PLTU): The politics of energy in Indonesia. *Proceedings of Airlangga Conference on International Relations(ACIR 2018) - Politics, Economy, and Security in Changing Indo-Pacific Region*, 101–106.
- Shell Company. (2018). *Skenario Shell Sky Mencapai Tujuan Paris Agreement*. <https://www.shell.com/content/dam/royaldutchshell/documents/business-function/energy-and-innovation/europe/nsr01686-sky-report-awv15-indonesia.pdf>.
- UNFCCC. (2015). *Paris Agreement: Decision 1/CP.17 - UNFCCC Document FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1*. <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.
- Widyaningsih, G. A. (2019). Membedah Kebijakan Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 5(1), 117–136.
- Winanti, N., & Purwadi, A. (2018). Study and design of distributed hybrid PV-generator-battery system for communal and administrative loadat Sei Bening Village, Sajingan Besar, Indonesia. *2018 2nd International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*, 129–133.
- Xu, Y., Yang, K., Zhou, J., & Zhao, G. (2020). Coal-biomass co-firing power generation technology: Current status, challenges and policy implications. *Sustainability*, 12(9), 3692.
- Zhao, S., Duan, Y., Lia, Y., Liu, M., Lu, J., Ding, Y., Gu, X., Tao, J., & Du, M. (2018). Emission characteristic and transformation mechanism of hazardous trace elements in a coal-fired power plant. *Fuel*, 214, 597–606.