Cakrawala
JURNAL LITBANG KEBIJAKAN

Volume 17 Nomor 2 Desember 2023
ISSN (Cetak): 1978-0354
ISSN (Online): 2622-013X
DOI: https://doi.org/10.32781/cakrawala.v17i2.539

Kebijakan Dekarbonisasi Sistem Energi Indonesia pada Sektor Energi Terbarukan

Indonesia's Energy System Decarbonization Policy in the Renewable Energy Sector

✉**Arya Dewa Nugroho, M. Syaiful Alim, Sri Sundari, Galih Rakasiwi Soekarno**
Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

ARTICLE INFO

Dekarbonisasi,
Energi Terbarukan,
Kebijakan Energi,
Lingkungan,
Sistem Energi.

Article History:

Received : 5 April 2023

Accepted : 30 Nov 2023

Publish : 14 Des 2023

ABSTRAK:

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji permasalahan terkait dampak jejak karbon, serta kebijakan pemerintah Indonesia dalam penggunaan energi terbarukan sebagai alternatif sumber energi nasional. Penyebab utama dari pencemaran lingkungan adalah emisi gas rumah kaca. Emisi gas rumah kaca Indonesia dari pendekatan setiap sektor memiliki angka 638.452 Gg CO2e, dengan emisi paling besar disumbangkan oleh industri produsen energi pada sektor transportasi dan elektrifikasi. Konsumsi energi fosil yang sangat tinggi dan laju pertumbuhan penduduk yang meningkat setiap tahunnya, membuat persediaan sumber energi fosil tidak dapat lagi memasok permintaan kebutuhan energi. Dekarbonisasi sistem energi diperlukan untuk menghindari dampak bencana perubahan iklim dan mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Kebijakan kendaraan listrik adalah salah satu solusi yang dicanangkan pemerintah untuk mengurangi angka emisi karbon di bidang transportasi. Pemanfaatan teknologi microgrid dan perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir menjadi opsi alternatif untuk percepatan transisi energi bersih pada sektor elektifikasi.

ABSTRACT:

This article aims to examine issues related to the impact of carbon footprints, as well as the Indonesian government's policy on the use of renewable energy as an alternative national energy source. The main cause of environmental pollution is the emission of greenhouse gases. Indonesia's greenhouse gas emissions from each sector approach have a figure of 638,452 Gg CO2e, with the largest emissions contributed by the energy-producing industry in the transportation and electrification sectors. The consumption of fossil energy is very high and the population growth rate is increasing every year, making the supply of fossil energy sources no longer able to supply the demand for energy needs. Decarbonizing the energy system is necessary to avoid the catastrophic effects of climate change and promote sustainable economic growth. The electric vehicle policy is one of the solutions launched by the government to reduce carbon emissions in the transportation sector. Utilization of microgrid technology and planning for Nuclear Power Plants is an alternative option for accelerating the clean energy transition in the electrification sector.

How to Cite:
Nugroho, A. D., Alim, M. S., Sundari, S., Soekarno, G. R. (2023). Kebijakan Dekarbonisasi Sistem Energi Indonesia Pada Sektor Energi Terbarukan. *Cakrawala: Jurnal Litbang Kebijakan, 17*(2), 109-125. https://doi.org/10.32781/cakrawala.v17i2.539.

✉Corresponding author :
Address : Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16810
Email : aryanugroho724@gmail.com

Cakrawala: Jurnal Litbang Kebijakan is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Masalah lingkungan terutama pencemaran lingkungan udara adalah salah satu masalah besar yang mencemaskan dan harus segera dicari solusinya. Pemanasan global yang terjadi akibat efek dari gas rumah kaca menjadi *issue* yang dibicarakan setiap hari. Salah satu penyebab pencemaran atau kerusakan lingkungan adalah emisi gas rumah kaca. Fenomena gas rumah kaca terjadi karena adanya peningkatan emisi gas-gas tertentu ke atmosfer, yang menyebabkan penangkapan dan penahanan energi matahari di dalam atmosfer bumi. Emisi gas ini menciptakan lapisan yang membiarkan sinar matahari masuk tetapi membatasi pelepasan panas kembali ke luar angkasa. Penyebab utama fenomena gas rumah kaca adalah aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak, dan gas alam), serta penggunaan zat kimia tertentu. Gas-gas utama yang menyumbang terhadap efek rumah kaca meliputi karbondioksida (CO_2), chlorofluorocarbons (CFC), metana (CH_4), dinitrooksida (N_2O), dan zat-zat lain yang dapat menangkap dan mempertahankan panas di atmosfer. Akumulasi gas-gas ini menyebabkan peningkatan suhu rata-rata atmosfer bumi, yang dapat berdampak buruk pada iklim global, termasuk perubahan pola cuaca yang ekstrem, naiknya permukaan air laut, dan kerugian keanekaragaman hayati (Anggraini dkk., 2018).

Saat ini diperkirakan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) paling dominan di atmosfer. Laporan International Energy Agency (IEA) menyatakan bahwa total emisi karbon pada tahun 2021 mengalami peningkatan sekitar 6% dibandingkan dengan tahun 2020. Peningkatan ini sejalan dengan pemulihan ekonomi global yang tumbuh sebesar 5,9% dalam rentang periode yang sama. Menurut IEA, pembakaran batu bara dan gas alam menjadi penyumbang utama emisi karbon global pada tahun tersebut. Emisi karbon dan gas rumah kaca ini menciptakan jejak karbon, yang merupakan total emisi yang dihasilkan oleh aktivitas individu atau perusahaan selama proses produksi. Jejak karbon ini memiliki dampak negatif terhadap ekosistem dan lingkungan. Selain dapat menyebabkan bencana alam dan cuaca ekstrem, jejak karbon juga berkontribusi pada perubahan dalam rantai makanan dan berkurangnya sumber air bersih (IEA, 2021).

Lebih lanjut menurut laporan Kementerian ESDM (2019) menjelaskan bahwa emisi gas rumah kaca Indonesia pada sektor energi yang dihimpun dari setiap sektor memiliki angka 638.452 Gg CO_2e, dengan emisi paling besar disumbangkan oleh industri produsen energi kelistrikan. Energi listrik merupakan salah satu biang penyebab emisi gas rumah kaca terbesar. Oleh karena itu, penggunaan energi terbarukan harus lebih ditingkatkan lagi. Selain meminimalkan emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim, penggunaan listrik dari energi terbarukan juga dapat meminimalkan biaya penggunaan listrik.

Mengutip dari data BPPT (2021) menyatakan bahwa proyeksi kebutuhan energi listrik dari tahun 2019 hingga 2050 diperkirakan akan menigkat sebesar 23%, dengan kontribusi signifikan dari penggunaan kendaraan listrik dan kompor listrik. Hal tersebut dikarenakan adanya pembatasan penggunaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU Batubara) di masa mendatang. Namun pada kenyataannya produksi listrik nasional masih didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil (Batubara dan migas) dengan presentase diangka 60% lebih. Hal ini tentu saja menjadi ironi tersendiri mengingat penggunaan energi fosil merupakan sumber energi tak terbarukan, karena tak terbarukan maka ketersediaan energi fosil akan habis jika dieksploitasi secara terus menerus. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil juga menimbulkan dampak

negatif terhadap lingkungan. Selain itu, dengan meningkatnya konsumsi energi dan proyeksi pertumbuhan penduduk yang tinggi di masa depan akan menimbulkan ketidakseimbangan antara persediaan dan permintaan energi. Dalam skenario ini, risiko kelangkaan dan ketidakstabilan pasokan energi menjadi semakin nyata (Pramudiyanto & Suedy, 2020).

Dekarbonisasi sistem energi diperlukan untuk menghindari dampak bencana perubahan iklim dan mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Pemanfaatan dari potensi tenaga surya dapat dijadikan opsi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Biaya deflasi tenaga surya sebagai energi terbarukan, telah memberikan pilihan ekonomis untuk menggantikan bahan bakar fosil dalam sistem energi, terutama di sektor listrik. Oleh karena itu, ada peluang dari sektor ketenagalistrikan dilihat sebagai langkah pertama untuk memulai transisi energi. Kemudian, perpindahan kendaraan konvensional (bahan bakar fosil) menuju ke kendaraan listrik merupakan suatu upaya yang dipilih pemerintah Indonesia untuk mewujudkan target penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Upaya tersebut dipilih karena transportasi merupakan salah satu sektor pengguna bahan bakar fosil yang paling banyak. Transportasi menyumbang emisi sebesar 28% dari emisi total CO_2 (IESR, 2021).

Kebijakan untuk mengurangi gas rumah kaca telah diterapkan di berbagai belahan dunia, seperti kebijakan *Paris Agreement*. *Paris Agreement* adalah traktat atau perjanjian internasional yang menginisiasi mitigasi, adaptasi terkait perubahan iklim yang disepakati pada tahun 2015 (Mukhtarov dkk., 2023). Kebijakan ini dirancang untuk membimbing negara-negara dalam upaya untuk mengurangi emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya. Sebagai turunan dan amanah dari Kebijakan *Paris Agreement*, Indonesia mengimplementasikannya pada Kebijakan Energi Nasional tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 yang kemudian diperbaharui melalui Perpres No. 11 tahun 2023. Lebih lanjut, implementasi dari kebijakan energi nasional diharapkan dapat meningkatkan Infrastruktur energi terbarukan guna menyelesaikan masalah penyediaan kebutuhan dan distribusi listrik. Pemanfaatan teknologi *microgrid* dan *electric vehicle* juga dapat dijadikan alternatif opsi untuk meningkatkan bauran energi terbarukan (Utami dkk., 2022).

Artikel ilmiah ini bertujuan untuk mengkaji permasalahan terkait dampak jejak karbon dan kebijakan pemerintah Indonesia dalam penggunaan energi terbarukan sebagai alternatif sumber energi nasional. Diharapkan artikel ini dapat menghasilkan suatu rujukan ilmiah dan saran terhadap regulasi guna meningkatkan target dan visi Indonesia dalam memaksimalkan penggunaan potensi energi baru terbarukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan Energi dan Lingkungan

Secara umum kegiatan yang berkaitan dengan energi sangat berkaitan dengan lingkungan (*nexus*). Alasannya karena semua sumber energi berasal dari lingkungan contohnya dari perut bumi ada sumber energi migas, batubara dan panas bumi. Dari air ada sumber energi gelombang air laut dan aliran sungai. Dari udara, ada sumber energi angin. Dari permukaan bumi ada biomassa, bioetanol, biodiesel dan lain-lain (Qodriyatun, 2021).

Proses pengambilan, produksi dan penggunaan energi menimbulkan dampak terhadap lingkungan (biotik dan abiotik). Energi sangat bermanfaat karena tanpa energi manusia tidak bisa hidup layak. Kegiatan dan mobilitas manusia semuanya berhubungan dengan energi seperti kebutuhan listrik, transportasi, dan kegiatan industri semuanya membutuhkan

energi. Sumber energi diklasifikasikan menjadi sumber energi primer, energi final dan energi *useful*. Kemudian sumber energi primer sendiri dibagi lagi menjadi sumber energi fosil (energi tak terbarukan) dan sumber energi non fosil (sumber energi terbarukan). Batubara dan Minyak bumi adalah dari contoh sumber energi fosil (Rahayu & Windarta, 2022). Indonesia sendiri masih bergantung pada sumber energi fosil khususnya pada penggunaan produk olahan minyak bumi yang digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan motor bakar konvensional. Batubara juga masih dominan digunakan sebagai bahan bakar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

Hubungan khusus minyak bumi dan gas sangat bersinggungan dengan lingkungan. Minyak bumi (*cude oil*) dan gas alam (natural gas) berasal dari pelapukan sisa-sisa organisme. Proses pembentukannya memerlukan waktu yang sangat lama. Proses ekplorasi, proses produksi (*Refinery*) dan distribusi produk olahan minyak bumi dan gas alam dianggap akan berdampak negatif pada lingkungan (Martaningtyas dkk., 2018). Dampak yang diberikan pada ekploitasi minyak bumi dan gas cenderung negatif karena baik pada proses ekplorasi, produksi, distribusi dan konsumsi energi minyak dan gas, baik untuk sektor transportasi maupun industri atau rumah tangga semuanya menghasilkan emisi dan limbah yang berpotensi akan mencemari lingkungan jika tidak diolah dan dikelola dengan baik dan bijaksana. Saat ini pencemaran lingkungan semakin hari, semakin bertambah buruk karena dampak yang dihasilkan oleh emisi karbon yang dihasilkan dari sumber energi fosil beserta limbahnya. Pengolahan limbah yang tidak di kelola secara benar akan mengakibatkan terancamnya kelestarian lingkungan. Selain mereduksi laju emisi karbon, manajerial pengolahan limbah (terutama limbah minyak bumi) juga dapat dijadikan salah satu opsi untuk mencegah terjadinya kerusakan lingkungan (Sudjoko, 2021).

Limbah yang dihasilkan selama proses penyulingan minyak bumi (*refinery*), memiliki sifat yang kompleks dan dapat dibedakan menjadi limbah gas, cair, dan padat. Salah satu jenis limbah padat yang dihasilkan disebut *oil sludge*. *Oil sludge* berwujud lumpur dan berasal dari tangki yang digunakan untuk menampung minyak bumi. Proses oksidasi yang terjadi akibat reaksi antara minyak, air, dan udara menyebabkan terjadinya sedimentasi pada dasar tangki penyimpanan. Komposisi dari lumpur minyak meliputi hidrokarbon, air, abu, karat tangki, pasir, dan bahan kimia lainnya. Kandungan hidrokarbon dalam lumpur minyak mencakup senyawa seperti benzena, toluena, xilena, etilbenzena serta logam berat timbal (Pb). Penting untuk dicatat bahwa lumpur minyak termasuk dalam kategori limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun), yang mengharuskan pengelolaan khusus sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999.

Dekarbonisasi Sistem Energi

Salah satu upaya dekarbonisasi sistem energi dapat dicapai dengan melakukan transisi ke ekonomi-rendah karbon dan kebijakan atau regulasi terkait pembatasan peningkatan suhu permukaan bumi yang tidak lebih dari 2°C (Harjanto dkk., 2012). Upaya tersebut dapat terealisasi dengan transformasi sistem energi yang melandasi penurunan intensitas karbon pada semua sektor. Selanjutnya, kondisi tersebut disebut dengan dekarbonisasi sistem energi. Kemudian, dalam *forum grup discussion* (FGD) yang diadakan oleh KLHK menyatakan bahwa ada tiga pilar dekarbonisasi terkait penerapan teknologi rendah karbon yaitu efisiensi energi, dekarbonisasi kelistrikan (Produksi listrik berasal dari sumber energi terbarukan)

dan penggunaan energi listrik pada semua sektor. Ketiga pilar tesebut dapat di implementasikan pada dua sektor utama yaitu sektor transportasi dan sektor elektrifikasi.

Transportasi merupakan salah satu sektor yang paling berkontribusi pada konsumsi energi sekaligus emisi gas rumah kaca. Guna memperlambat laju pemanasan global dan pengembangan sumber dan teknologi energi yang berkelanjutan, Indonesia harus mendorong transisi energi yang masif dari energi fosil menuju energi baru terbarukan. Ketergantungan dan dampak negatif terhadap energi fosil memacu para ahli di bidang transportasi untuk mencari inovasi terkait akselerasi teknologi untuk kendaraan listrik. Kendaraan listrik merupakan salah satu opsi guna mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan meningkatkan ketahanan energi nasional. Pergeseran bertahap menuju sumber energi yang lebih bersih dan hijau membutuhkan penerapan kendaraan listrik sebagai *platform* transportasi utama (Mojumder dkk., 2022).

Tren pengembangan dan penelitian baterai kendaraan listrik yang menggunakan *raw material* nikel mengalami peningkatan yang signifikan karena munculnya stigma dari dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil terhadap lingkungan (Meliani dkk., 2021). Presiden Indonesia, Joko Widodo mempunyai visi untuk menjadikan Indonesia sebagai salah pusat industri manufaktur kendaraan listrik di dunia. Hal tersebut didasarkan karena Indonesia mempunyai cadangan sumber daya nikel terbesar di dunia yakni sekitar 21 juta ton (USGS, 2022). Salah satu upaya untuk merealisasi program tersebut adalah dengan cara hilirisasi industri nikel. Proses produksi dan pengolahan biji nikel di dalam negeri diharapkan dapat menambah nilai jual dari produk olahan nikel. Selain itu, regulasi ekspor nikel juga berperan penting dalam pengembangan pengolahan produk nikel. Aturan tersebut menyatakan bahwasanya kandungan nikel dibawah 1,7% tidak diperkenankan lagi untuk diekspor mulai Desember 2019 sesuai dengan Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 1 Tahun 2017 (Sidabutar, 2020).

Potensi sumber energi terbarukan diharapkan menjadi sumber energi yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan (*sustainable*). Saat ini, jaringan listrik pintar berteknologi tinggi yang mudah digunakan dibutuhkan sebagai salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil (Effendy dkk., 2019). Infrastruktur energi listrik yang aman dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik serta mengatur sistem manajemen energi dan mengoptimalkan penggunaan berbagai sumber daya energi terbarukan serta terintegrasi dengan perangkat penyimpanan energi/baterai (Mahjoub dkk., 2023). Selain sumber energi, infrastruktur energi juga berperan penting sebagai salah satu aspek akselerasi dekarbonisasi sistem energi. *Microgrid* merupakan salah satu contoh jaringan listrik pembangkitan terdistribusi yang melingkupi berbagai macam sumber energi lokal terbarukan (*renewable energy*) yang memiliki sistem interkoneksi beban dan berbagai macam sumber yang terdistribusi.

Sumber energi terdistribusi, seperti sel surya atau fotovoltaik (PV), turbin angin, sistem penyimpanan energi (ESS), dan manajemen energi dapat dikontrol melalui teknologi *microgrid* (Trisnasari *dkk*., 2016). *Microgrid* merupakan sistem energi yang ekonomis dan efisien di mana energi terbarukan dari berbagai macam sumber dan sistem penyimpanan (baterai) saling terhubung untuk memenuhi permintaan daya beban setiap saat. *Microgrid* bisa beroperasi dalam mode *on-grid* terhubung dengan grid nasional PLN dan *off-grid* tidak terhubung dengan grid nasional PLN atau bahkan mode *hybrid* (Yin dkk., 2017).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif. Alasan dari pemilihan metode ini didasarkan karena penelitian berfokus untuk mengulas kebijakan energi terbarukan dan dekarbonisasi sistem energi Indonesia terutama pada bidang transportasi dan elektrifikasi. Dampak negatif dari emisi gas rumah kaca juga menjadi sub topik bahasan dalam artikel ini. Tinjauan pustaka penelitian yang relevan terkait jejak karbon dirangkum untuk mengidentifikasi dampak emisi karbon pada lingkungan. Kemudian, pendekatan studi kasus terkait kebijakan pemerintah yang dituangkan pada draft Rancangan Undang- Undang Energi Baru Terbarukan digunakan sebagai upaya dekarbonisasi akan diulas dan dianalisis melalui artikel ini.

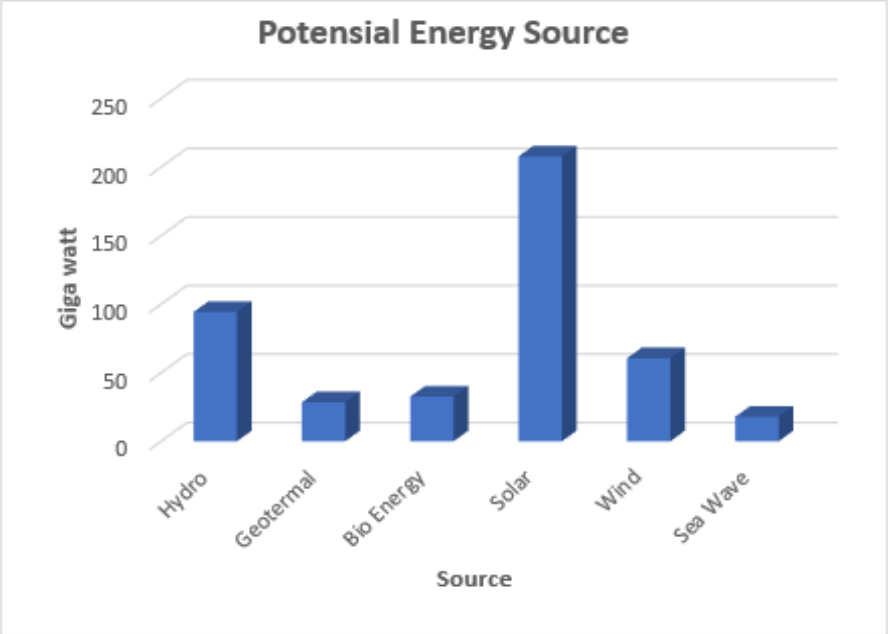
Teknik pengumpulan data menggunakan data primer dan sekunder. Data primer di dapat melalui informan yang di wawancarai pada program Kuliah Kerja Dalam Negeri Prodi Ketahanan Energi, UNHAN RI. Data sekunder diperoleh dari jurnal dan data *outlook* energi Indonesia. Kemudian data yang telah terkumpul dikaitkan pada perumusan Kebijakan Energi Nasional yang selanjutnya diolah dan dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konversi dan Konservasi Energi Baru Terbarukan

Pengurangan produksi energi tak terbarukan dan komitmen global untuk mengurangi emisi GRK, menuntut pemerintah agar terus meningkatkan bauran energi baru terbarukan dan diversifikasi energi dalam rangka menjaga ketahanan energi nasional.

Gambar 1 menjelaskan jumlah total potensi energi terbarukan yang berada diangka 440 GW (giga watt) digunakan pada sektor pembangkit listrik, sedangkan Bahan Bakar Nabati (BBN) dan Biogas sebesar 200 ribu Bph (Barel Per Hari) digunakan untuk keperluan bahan bakar pada sektor transportasi, rumah tangga, komersial dan industri. Energi matahari memiliki potensi energi tertinggi sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik sebesar 208 GW, disusul Pembangkit



Sumber: BPPT, 2021

Gambar 1. Potensi Energi Terbarukan Indonesia

Listrik Tenaga Hidro sebesar 94 GW, Angin 61 GW, Bioenergi 33 GW, Panas Bumi 29 GW dan Gelombang Laut 18 GW. Jika dikaitkan pada efek pemanasan global, energi listrik dari sumber matahari akan meningkatkan konsumsi energi listrik dengan tetap meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Untuk mencapai target perlindungan iklim sesegera mungkin, dampak emisi gas rumah kaca terhadap lingkungan harus diukur dan harus diintegrasikan secara efektif.

Semua jenis GRK dapat dikonversi menjadi CO_2 setara berdasarkan faktor konversi yang disediakan. Pengukuran emisi dari suatu sel surya yang didapat melalui analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) menghasilkan jejak karbon mulai dari 15 hingga 3 g CO_2e/kWh tergantung pada penyinaran matahari di suatu lokasi. Jejak karbon sel surya (PV) relatif sangat rendah jika dibandingkan dengan jejak karbon batubara yakni sebesar 1008 g CO_2e/kWh, Natural gas 409 CO_2e/kWh, dan setara dengan jejak karbon energi Hydro sebesar 3 CO_2e/kWh (Heliatek, 2020). Meskipun pengoperasian sistem PV menunjukkan polusi minimal selama masa pakainya, potensi dampak lingkungan dari sistem tersebut tidak dapat diabaikan. Alasannya karena dari proses manufaktur hingga pembuangan material sel surya masih menghasilkan jejak karbon (Jia dkk., 2022).

Selain dari aspek lingkungan, aspek ekonomi juga berpengaruh pada pemanfaatan sumber energi matahari. Kemudian, manfaat yang diperoleh dari implementasi sistem *hybrid* Pembangkit Listrik Tenaga Surya terhadap proyek penyimpanan energi terintegrasi di kota Sabang memperkirakan pendapatan produksi industri pertahun mencapai sekitar 85 milyar rupiah pada tahun pertama, dengan rata-rata pendapatan pertahun mencapai 104 milyar rupiah. Hal tersebut didasarkan karena penghematan biaya listrik dari pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya diangka 307 juta rupiah. Peningkatan Pendapatan Daerah Bruto (PDRB) Kota Sabang disimulasikan meningkat sebanyak 0,35%. Kemudian, PDRB Kota Sabang sektor perikanan meningkat sekitar 16 % (Kurniawan *dkk*., 2018). Terlebih jika dianalisis lebih jauh manfaat yang didapat dari penggunaan PLTS dapat secara signifikan mengurangi produksi emisi CO_2 mencapai 340 tCO_2 pertahun atau pada *carbon trade* mencapai 5,5 milyar rupiah pertahun. Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan yang sangat besar dan dapat digunakan sebagai alternatif energi untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Melihat dari potensi, keuntungan ekonomi dan dampak terhadap lingkungan penggunaan sumber energi terbarukan dengan sumber tenaga surya patut didorong untuk menjadi suplai utama energi nasional.

Dampak Kebijakan Emisi Karbon

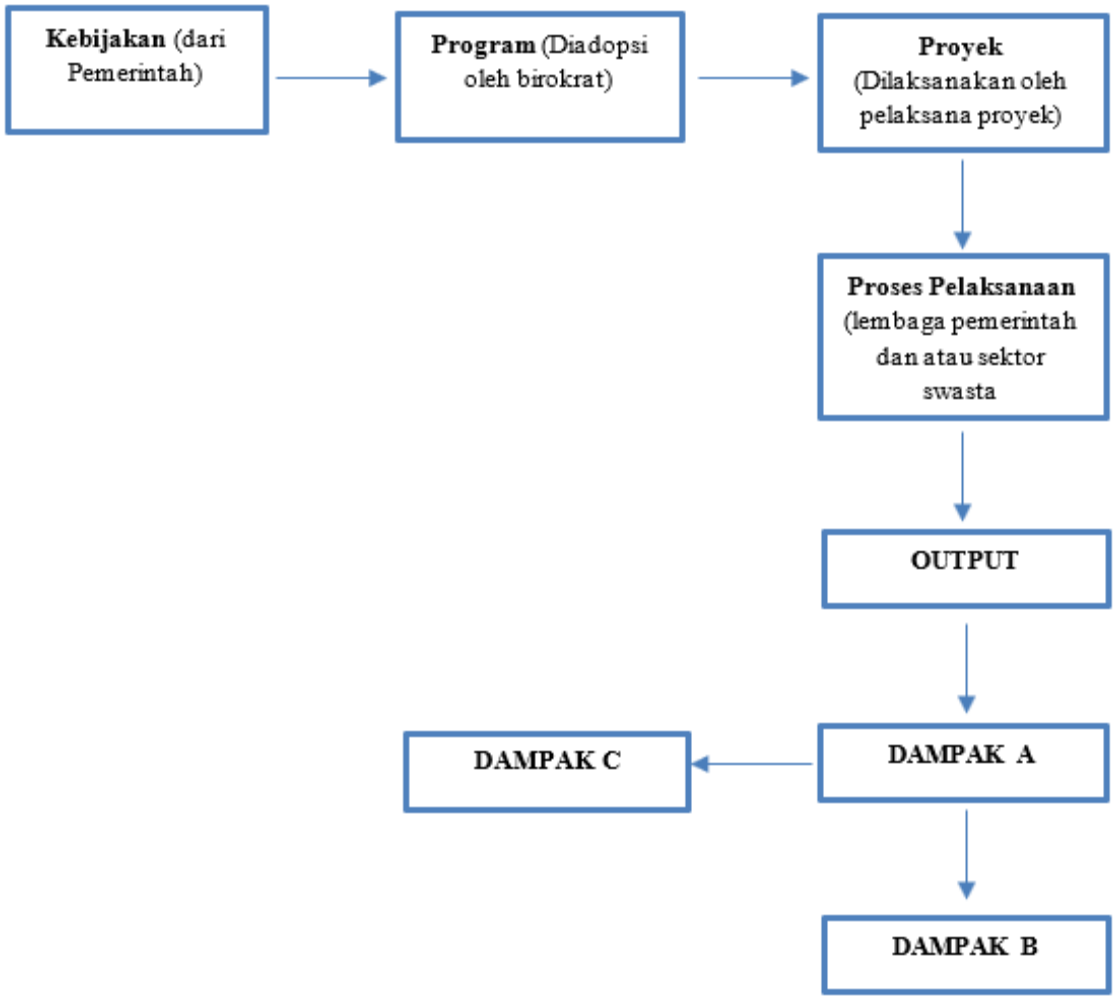
Dampak kebijakan publik merupakan hasil nyata dari proses perumusan dan pelaksanaan kebijakan yang ditujukan kepada masyarakat. Tahapan ini dimulai dari pemilihan kebijakan, di mana pemimpin politik, pejabat pemerintah, atau partai yang memiliki kewenangan membuat kebijakan mempertimbangkan dampaknya terhadap kehidupan warga negara. Dalam konteks kebijakan emisi karbon, proses perumusan dan pelaksanaan kebijakan memiliki dampak nyata terhadap masyarakat.

Semua elemen implementasi kebijakan bergantung pada program-program tertentu dan aktor-aktor tertentu yang masing-masing memiliki kepentingan sendiri dalam program tersebut dan masing-masing berusaha untuk mencapai tujuannya dengan membuat tuntutan dalam prosedur alokasi. Oleh karena itu, implementasi menjadi lebih tersebar, baik secara geografis maupun organisasional sehingga

tugas untuk mengimplementasikan program tertentu menjadi sangat sulit, terutama dengan semakin banyaknya keterlibatan unit pengambil keputusan. Selama perumusan kebijakan harus dapat menunjukkan siapa yang diberi tugas untuk menjalankan berbagai program dan keputusan tersebut juga harus memberikan pengaruh terhadap bagaimana kebijakan tersebut dicapai.

Efektivitas kebijakan penurunan emisi karbon dapat tercermin dalam *output* dan dampak yang dihasilkan. Variabel seperti kondisi sekitar, hubungan antar organisasi, sumber daya organisasi, dan karakteristik agen pelaksana memainkan peran penting dalam membentuk kedua aspek ini. *Output* dari kebijakan penurunan emisi karbon dapat mencakup hasil konkret dari implementasi kebijakan, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca, penggunaan energi terbarukan, atau adopsi teknologi ramah lingkungan. Variabel kondisi sekitar, seperti geografi dan iklim, dapat mempengaruhi jenis output yang dapat dicapai, sementara hubungan antarorganisasi memengaruhi kolaborasi dalam mencapai target emisi.

Dampak kebijakan penurunan emisi karbon mencakup perubahan jangka panjang yang memengaruhi masyarakat



Sumber: Mutiarin dkk., 2017

Gambar 2. Tahapan Implementasi Kebijakan

dan lingkungan. Hal ini dapat melibatkan peningkatan kualitas udara, mitigasi perubahan iklim, dan mendorong untuk inovasi teknologi hijau. Sumber daya organisasi dan karakteristik agen pelaksana, seperti kesiapan untuk berinvestasi dalam proyek-proyek berkelanjutan, akan memengaruhi sejauh mana dampak tersebut dapat dicapai. Merujuk dari tahapan implementasi dan dampak kebijakan, maka tahap awal kebijakan melibatkan pemilihan tindakan untuk mengurangi emisi karbon, seperti peraturan industri, pajak karbon, serta akselerasi dan diversifikasi dari bauran energi terbarukan.

Evaluasi terus-menerus terhadap dampak kebijakan emisi karbon menjadi penting untuk memastikan bahwa tujuan kebijakan, seperti efisiensi dalam pelayanan publik, pencapaian target bauran energi terbarukan, dan penurunan emisi gas rumah kaca, tercapai secara optimal. Transparansi dan partisipasi masyarakat memainkan peran kunci dalam memastikan bahwa kebijakan publik benar-benar mencerminkan kebutuhan dan aspirasi masyarakat, sehingga dapat mengatasi tantangan dan memaksimalkan manfaat dari kebijakan emisi karbon (Putri *dkk*., 2022). Menurut Yoesgiantoro (2023) Evaluasi kebijakan secara sederhana dapat dijelaskan sebagai proses analisis terhadap nilai dari fakta-fakta yang berkaitan dengan kebijakan tertentu. Dalam hal ini, *monitoring* digunakan sebagai metode analitis untuk mengumpulkan informasi objektif tentang hubungan sebab-akibat dari suatu kebijakan atau program. Sebaliknya, evaluasi berfokus pada penyediaan informasi mengenai nilai atau dampak yang dihasilkan oleh keluaran (*output*) dari kebijakan tersebut. Evaluasi kebijakan publik merupakan suatu proses untuk menilai sejauh mana suatu kebijakan publik dapat menghasilkan hasil yang diinginkan.

Evaluasi kebijakan publik tidak hanya terbatas pada penilaian hasil (*outcomes*) atau dampak (*impacts*) yang dihasilkan oleh kebijakan, tetapi juga mencakup penilaian terhadap bagaimana proses pelaksanaan kebijakan tersebut telah berjalan. Dengan kata lain, evaluasi kebijakan tidak hanya mengukur hasil akhir, tetapi juga mengamati bagaimana kebijakan itu dijalankan sepanjang proses implementasinya.

Kebijakan Energi Indonesia

Kebijakan energi Indonesia tercantum dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN)



Sumber: Yoesgiantoro, 2023

Gambar 3. Evaluasi Kebijakan

dirumuskan oleh Dewan Energi Nasional (DEN) dan kemudian ditanda tangani dan disahkan oleh Presiden. Detail regulasi KEN tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang peraturan kebijakan energi nasional dan yang terbaru adalah Peraturan Presiden No. 11 tahun 2023. Adapun inti dari kebijakan tersebut meliputi target bauran Energi Baru Terbarukan dan target kapasitas penyediaan energi minimal yang ditargetkan terlaksana dalam dua tahap yaitu pada tahun 2025 dan 2050. Penjabaran rincian dari Kebijakan Energi Nasional (KEN) juga dijelaskan pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

RUEN, atau Rencana Umum Energi Nasional, didefinisikan sebagai kebijakan yang menetapkan rencana pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya energi pada tingkat nasional. Implementasi Kebijakan Energi Nasional yang bersifat lintas sektor diharapkan mampu mencapai target bauran energi terbarukan. RUEN secara lebih rinci mengandung detail-target dan prosedur program pemerintah yang digunakan untuk mencapai target makro yang telah disusun dalam KEN, atau Kebijakan Energi Nasional. Sejumlah target RUEN mencakup kapasitas pembangkit listrik Energi Baru Terbarukan, seperti target sebesar 45 GW pada tahun 2025 dan 168 GW pada tahun 2050. Target untuk bahan bakar terbarukan, seperti *Biofuel*, Biomassa, Biogas, dan CBM (*Coal Bed Methane*), juga dijelaskan dalam RUEN, dengan sasaran sebesar 23 MTOE pada tahun 2025 dan 79 MTOE pada tahun 2050. Selain itu, RUEN menetapkan target ambisius untuk penurunan emisi karbon, yaitu sebesar 476 juta t-CO_{2eq} pada tahun 2025 dan 2726 juta t-CO_{2eq} pada tahun 2050. Implementasi dan pencapaian target-target ini diharapkan akan membawa dampak positif terhadap sektor energi nasional, termasuk kontribusi signifikan terhadap pengurangan emisi karbon dan peningkatan pemanfaatan energi terbarukan dalam skala nasional (Dewan Energi Nasional, 2019).

Lebih lanjut, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mendorong penggunaan kendaraan listrik melalui kebijakan yang strategis. Salah satu inisiatif utama adalah menjadikan Indonesia sebagai basis produsen baterai kendaraan listrik dengan merencanakan pembangunan pabrik baterai di dalam negeri. Langkah ini sejalan dengan visi pemerintah untuk mendukung percepatan kendaraan listrik berbasis baterai, sebagaimana tertuang dalam Peraturan Presiden No.55 Tahun 2019. Keputusan untuk memanfaatkan potensi bahan baku baterai yang ada di dalam negeri adalah langkah cerdas guna memastikan bahwa Indonesia turut serta dalam rantai pasok global baterai kendaraan listrik. Namun, keberadaan baterai kendaraan listrik di Indonesia tidak terlepas dari dampak terhadap lingkungan selama proses daur hidupnya. Penelitian menunjukkan bahwa jejak emisi karbon dari produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia mencapai 20,36173 $KgCO_{2eq}$ per 1 kg baterai atau sekitar 3.074,62123 $KgCO_{2eq}$ per baterai. Pembuatan sel katoda menyumbang emisi terbesar, mencapai 11,8 $KgCO_{2eq}$ (Ulfa & Boedoyo, 2019).

Selain regulasi, strategi energi yang diterapkan pada Peraturan Pemerintah dan Peraturan Presiden, Rencana Umum Energi Nasional juga butuh payung hukum sebagai upaya untuk melegalitaskan aturan dan tata cara pelaksanaan Kebijakan Energi Nasional. Payung hukum tersebut sedang dibahas di DPR melalui RUU Energi Baru Terbarukan (EBT). Draft RUU EBT yang dipublikasikan pada Januari 2021, ada 14 BAB dan 59 pasal yang mengatur tentang sumber energi baru, energi terbarukan, perizinan dan pengusahaan, penyediaan dan pemanfaatan, pengelolaan lingkungan serta keselamatan dan kesehatan kerja.

RUU EBT dibuat guna mengejar bauran energi terbarukan, yang menjadi target pemerintah indonesia pada tahun 2025 sebesar 23 %. Sampai pada akhir tahun 2022, tercatat pembauran energi EBT masih di angka 12,4 % (ESDM, 2022). Salah satu penghambat pembauran EBT adalah kurang akomadatif dan responsif pemerintah dalam menangkap *issue* EBT. Pada prinsipnya, RUU EBT bisa disambut baik jika mampu menyelesaikan masalah yang ada, memberi kepastian hukum dan menyelesaikan masalah terkait bauran energi baru terbarukan. Tujuan lain dari dibentuknya RUU EBT juga berupaya untuk mitigasi perubahan iklim dan mengurangi efek GRK.

Produksi energi nuklir selalu menjadi topik yang menonjol dan seringkali menuai kontroversi pada diskusi kebijakan publik. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama kali di bangun pada tahun 1958 dan telah dipromosikan sebagai sumber energi bebas karbon di saat dunia menghadapi krisis energi dan perubahan iklim yang disebabkan oleh emisi karbon yang tinggi dari ketergantungan pada batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Pada tahun 2021, sekitar 19% suplai energi listrik Amerika berasal dari energi nuklir. Tren penggunaan energi nuklir yang semakin luas menuai beberapa kritik dan anggapan berbahaya terkait penggunaan energi nuklir (Dehner dkk., 2023). Pro dan kontra terkait penggunaan sumber energi Nuklir masih terus diperdebatkan sampai sekarang. Namun bagaimanapun, harus diakui bahwa energi nuklir merupakan energi bersih yang tidak menghasilkan emisi karbon.

Transisi energi global menuju *net zero emmisons* (NZE) mengakibatkan permintaan untuk energi bersih terus meningkat. Masalah emisi karbon yang dihasilkan dari bahan bakar fosil tradisional dan tingginya biaya konstruksi sumber energi terbarukan lainnya membuat energi nuklir dianggap sebagai pilihan energi yang tepat dan dapat diandalkan dalam menjamin pasokan listrik nasional (Wang & Zhang, 2023).

Dekarbonisasi Sistem Energi

Ketahanan Energi bisa ditopang oleh aktivitas-aktivitas pertambangan yang berkelanjutan. *Suistainable mining* (pertambangan yang berkelanjutan) mulai digaungkan karena bumi sudah tidak bisa menunggu lagi. Bumi memerlukan aksi nyata untuk menahan laju peningkatan suhu, karena peningkatan suhu yang melebihi 2°C akan mengakibatkan pemanasan global. Hal ini juga didukung oleh pernyataan dari informan PT Vale Indonesia yang menyatakan bahwa Indonesia diberkahi oleh anugerah sumber daya alam yang luar biasa, khususnya di wilayah Sulawesi yang memiliki cadangan nikel yang sangat besar. Tahapan proses pengolahan bahan dasar nikel hingga menuju baterai apalagi *electric vehicle* sangatlah panjang, yang dilakukan PT. Vale adalah hanya sampai pada tahap *chemical*. Dari *chemical* ini masih ada lagi proses pembuatan katoda dan anoda. Pada proses tersebut memerlukan tambahan mineral-mineral lain, walaupun presentase komposisi nikel masih sangat dominan.

Proses *minning* hingga proses *chemical* menggunakan energi bersih rendah karbon. Hal tersebut tidak berdampak besar terhadap lingkungan karena PT Vale Indonesia telah mengambil langkah signifikan dalam mengurangi dampak lingkungan melalui kebijakan penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebagai penyuplai energi listrik utama. Dari tiga bendungan yang dimiliki dengan total kapasitas 365 MW, PLTA menjadi kontributor utama dalam menyediakan energi bersih operasional PT Vale. Sebanyak 38% dari total pasokan energi bersih yang digunakan dalam operasional perusahaan berasal dari PLTA.

Keputusan ini tidak hanya mencerminkan komitmen PT Vale terhadap keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memiliki dampak positif yang signifikan terhadap pengurangan emisi karbon. Dengan mengandalkan PLTA, PT Vale Indonesia berhasil mengurangi emisi hingga kurang lebih 2.000.000 Ton karbon dioksida setiap tahunnya. Hal ini menandakan kontribusi yang substansial terhadap upaya global dalam mengatasi perubahan iklim dan menunjukkan bagaimana sektor industri dapat berperan aktif dalam mengurangi jejak karbonnya. Langkah ini sekaligus memperkuat argumen untuk adopsi sumber energi bersih, seperti tenaga air, dalam upaya mencapai target emisi karbon dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Sumber daya tersebut tentu sangat diperlukan untuk kebutuhan transisi energi. Tidak hanya untuk kendaraan listrik, namun juga untuk seluruh sektor yang berdampak pada bauran energi terbarukan.

Lebih lanjut, nikel merupakan salah satu mineral yang dibutuhkan untuk menopang transisi energi. Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki sumber daya nikel terbesar di dunia sangatlah relevan untuk aktif berpartisipasi. Sekitar 22% dan data lain sekitar 25% cadangan nikel dunia ada di Indonesia dan sebagian besar berada di pulau Sulawesi. Penambangan yang dilakukan oleh PT. Vale terintegrasi menjadi satu dengan pabrik pengolahan nikel yang menjadikan Nickel Matte (*nickel class one*) sebagai produk akhirnya. Sejak awal berdirinya Pabrik tersebut, tidak pernah mengekspor biji nikel. Sesuai intruksi Presiden terkait hilirisasi telah dilaksanakan pada tahap awal produksi sampai pada pemurnian *nikel matte* dengan *content* sekitar 78%, Sulfur 20-21% dan Kobal 1-2%. Kedepannya, diharapkan produk olahan nikel terintegrasi menjadi bagian daripada proyek hilirisasi. Saat ini memang semuanya dicanangkan



Sumber: PT Vale, 2023

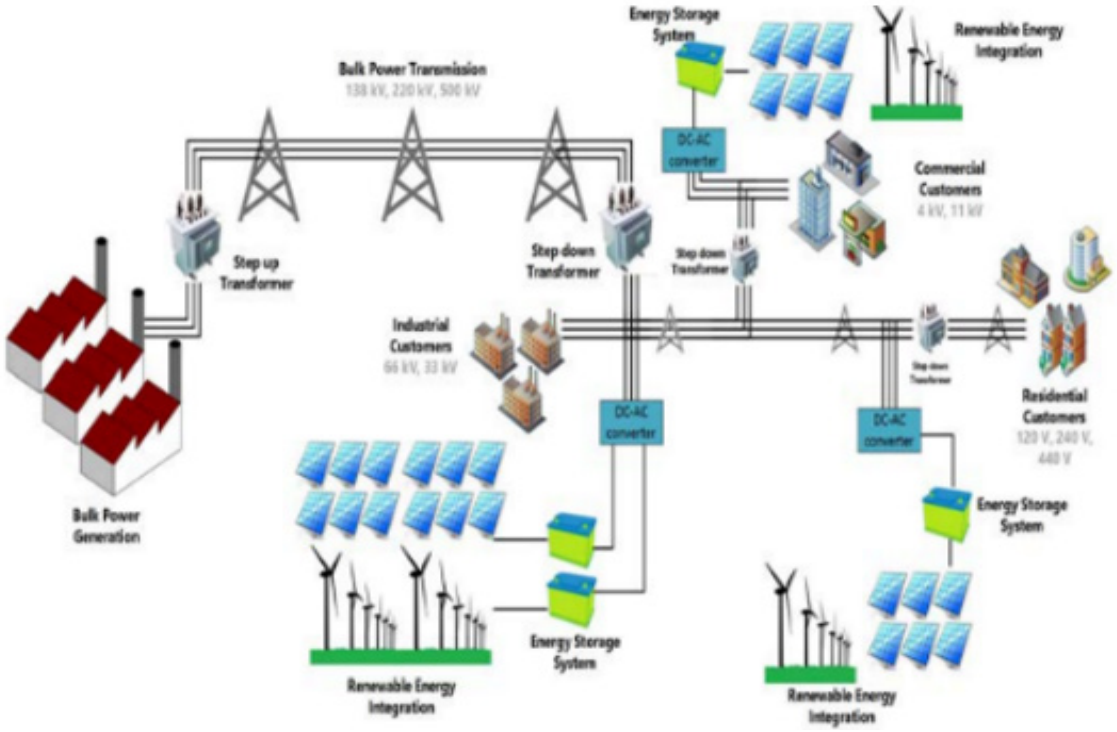
Gambar 4. PLTA PT Vale

untuk 100% ekspor. Namun demikian, jika industri *electric vehicle* dalam negeri telah berkembang dan membutuhkan material produk olahan nikel sebagai komponen utama baterai, PT Vale bersedia untuk mendukung program hilirisasi tersebut.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan nikel yang lebih dikhususkan untuk baterai kendaraan listrik, diperkirakan mulai tahun 2025 dibutuhkan investasi yang sangat besar terkait pengolahan nikel yang akan masuk ke dalam industri otomototif. Apabila sumber daya ini tidak dikelola dengan hati-hati, tentu akan memberikan dampak yang tidak diinginkan pada lingkungan. Selain permasalahan energi di bidang transportasi, sektor elektirifikasi juga mengalami masalah yang sama kompleksnya (Wicaksono dkk., 2020).

Dinamika perang yang terjadi di Ukraina mengharuskan pemerintah untuk memutar otak agar Indonesia tidak terkena dampak negatif dari perang tersebut. Krisis energi seolah menjadi momok karena konflik Rusia dan Ukraina. Alasan tersebut didasari karena sanksi dan perbedaan posisi politik dari negara anggota NATO yang menyebabkan Rusia menghentikan mengekspor minyak dan gasnya (Falahi, 2022). Kebutuhan bahan bakar fosil kembali meningkat karena efek domino dari perang tersebut. Sejalan dengan permasalahan tersebut para ahli militer menawarkan konsep pertahanan hijau (*green defense*) untuk memaksimalkan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan (Supriyadi, 2023).

Kekuatan armada militer saat ini masih cenderung bertumpu pada bahan bakar berbasis fosil. Sementara teknologi militer yang memanfaatkan energi bebasis non fosil masih terus dikembangkan, penggunaaan energi terbarukan untuk pangkalan militer menjadi opsi untuk mencegah terjadinya krisis energi dan meredam ancaman militer yang sangat dinamis.



Sumber: Mumtaz & Bayram, 2017

Gambar 5. Skema *Microgrid*

Karakteristik sumber daya energi terbarukan seperti surya, angin, air, biomasa dan sejenisnya yang bersifat lokal dianggap cocok memenuhi kebutuhan listrik untuk mendukung kegiatan pangkalan militer. Selain ramah lingkungan, peng-operasian peralatan kritis seperti radar dan telekomunikasi menjadi lebih andal. Ketika masa perang ketergantungan pasokan listrik pada *grid* nasional (PLN) rentan terhadap sasaran musuh sehingga dapat menyebabkan operasional pangkalan militer tidak dapat bekerja secara optimal (Succetti dkk., 2023). Sistem energi *microgrid* dapat dijadikan solusi sebagai upaya untuk mengintegrasikan pembangkit listrik dari berbagai sumber daya energi terbarukan di sekitar pangkalan militer (*distributed generation*), karena sistem ini mampu beroperasi secara mandiri (*island mode*), dan merupakan *smart grid* sehingga cocok untuk mendukung pertahanan negara pada pangkalan-pangkalan militer di daerah perbatasan dan cocok pula di implementasikan secara masif karena Indonesia merupakan negara kepulauan.

SIMPULAN

Energi sudah menjadi kebutuhan primer yang harus ada untuk menopang aktivitas dan mobilitas manusia. Sektor transportasi dan elektrifikasi merupakan sektor utama penghasil emisi karbon terbesar. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis dekarbonisasi sistem energi sehingga setiap sektor dapat diidentifikasi sebagai upaya untuk menentukan kebijakan pengurangan emisi karbon yang tepat. Peningkatan *carbon footprint*, akan menyebabkan pencemaran lingkungan dan lama kelamaan akan merusak ekosistem dan fenomena yang paling ekstrem dari dampak rusaknya lingkungan adalah kepunahan makhluk hidup di bumi. Maka dari itu, pengurangan jejak karbon akan menghambat dan mengurangai dampak dari proses pemanasan global. Indonesia sendiri berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon yang diyakini sebagai penyebab utama gas rumah kaca melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN). KEN mengutamakan konversi dan konservasi menggunakan bauran energi terbarukan. Kebijakan penurunan emisi karbon melibatkan tindakan peraturan industri, pajak karbon, dan dukungan energi terbarukan. Dengan melibatkan pemangku kepentingan, kebijakan ini menghasilkan *output* konkret berupa pengurangan emisi gas rumah kaca, meningkatkan kualitas udara, dan mitigasi perubahan iklim. Keberhasilan kebijakan tersebut bergantung pada manajemen efektif sumber daya dan karakteristik agen pelaksana. Evaluasi berkelanjutan diperlukan untuk efisiensi dan mencapai target emisi, sementara transparansi dan partisipasi Masyarakat menjadi krusial dalam mencerminkan kebutuhan Masyarakat terkait energi. Kebijakan mobil listrik merupakan salah satu solusi yang dicanangkan pemerintah untuk mengurangi emisi karbon di bidang transportasi, namun kebijakan produksi baterai kendaraan listrik tentunya harus disuplai dengan penggunaan energi listrik yang bersumber dari energi terbarukan, Sementara energi listrik yang di produksi oleh PLN masih didominasi sumber energi fosil khususnya batubara (50%), gas bumi (29%) dan Bahan Bakar Minyak (7%). Kemudian, melihat dari potensi, keuntungan ekonomi dan dampak terhadap lingkungan penggunaan sumber energi terbarukan dengan sumber tenaga surya patut didorong untuk menjadi suplai utama energi nasional. Kemudian, teknologi *microgrid* yang mengandalkan suplai dari sumber energi terbarukan lokal dirasa cocok di implementasikan secara masif karena Indonesia merupakan negara kepulauan. Lebih lanjut, kebijakan RUU EBT yang mengutamakan energi nuklir sebagai suplai utama untuk energi listrik nasional merupakan langkah yang

tepat, mengingat potensi nuklir yang dapat menghasilkan energi 300 kali lipat lebih besar dari batubara dan juga lebih ramah lingkungan. Namun pada tahap perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir harus dikawal dengan keamanan yang ketat karena Uranium sebagai bahan dasar dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir merupakan unsur radioaktif yang bisa menghasilkan potensi ledakan dan sangat berbahaya terhadap keselamatan jika pada proses perencanaan dan operasionalnya tidak dikelola dan diolah secara baik dan bijak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih pada UNHAN RI, PT Vale dan Pemkab Luwu Timur karena telah memberikan akomadasi sehingga penelitian ini bisa terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, R. C. P. K., Kuntjoro, Y. D., & Sasongko, N. A. (2018). Potensi Pemanfaatan Mikroalga Untuk Mitigasi Emisi Co_2 (Studi Kasus Di Pltu Cilacap). *Ketahanan Energi*, *4*(1), 1–27.

BPPT Outlook. (2021). Outlook Energi Indonesia 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station. In *Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)*.

Dehner, G., Mcbeth, M. K., Moss, R., & Woerden, I. Van. (2023). *A Zero-Carbon Nuclear Energy Future ? Lessons Learned from Perceptions of Climate Change and Nuclear Waste*. 1–16.

Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Out Look 2019* (Vol. 53, Issue 9).

Effendy, M., Zulyazis, R. D., & Mardiyah, N. (2019). Desain Power Sistem PV pada DC Microgrid berdasarkan Kombinasi Supercapacitor dan Battery. *Cyclotron*, *2*(2), 26–30. 10.30651/cl.v2i2.3257

ESDM. (2019). *Laporan Kinerja ESDM 2019*.

ESDM. (2022). *Laporan Kinerja Ditjen EBTKE 2022*.

Falahi, Z. (2022). Krisis Ukraina: Tawaran Resolusi Konflik dan Dampaknya Terhadap Perekonomian Global. *Kajian Singkat Terhadap Isu Aktual dan Strategis*, *14*(5), 13–18.

Harjanto, T. R., Fahrurrozi, M., & Made Bendiyasa, I. (2012). Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa. *Jurnal Rekayasa Proses*, *6*(2), 51-62.

Heliatek. (2020). *Ultra-Low Carbon Footprint*. Whitepaper.

IEA. (2021). *Global Energy Review 2021*. 10.1787/90c8c125-en

IESR. (2021). Indonesia Energy Transition Outlook 2021: Tracking progress of energy transition in Indonesia. *Institute for Essential Services Reform (IESR)*.

Jia, H., Liang, L., Xie, J., & Zhang, J. (2022). Environmental Effects of Technological Improvements in Polysilicon Photovoltaic Systems in China. A Life Cycle Assessment. *Sustainability*, *14*. 10.3390/su14148670.

Kurniawan, E. R., Supriyadi, I., & Sasongko, N. A. (2018). Analisis biaya manfaat energi surya untuk mendukung pasokan energi integrated cold storage di SKPT Kota Sabang. *Jurnal Ketahanan Energi*, *4*(1), 1–25.

Mahjoub, S., Chrifi-alaoui, L., & Drid, S. (2023). Control and Implementation of an Energy Management Strategy for a PV-Wind-Battery Microgrid. *Energies, 16*(4), 1-26.

Martaningtyas, M., Herto, D., & Ariesyady, D. (2018). Identifikasi Bahaya Dan Analisis Risiko Pada Jaringan Pipa Transmisi Crude Oil Di Perusahaan Migas. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *24*(1), 1–14.

Meliani, M., Barkany, A. El, Abbassi, I. El, Darcherif, A. M., & Mahmoudi, M. (2021). Energy management in the smart grid: State-of-the-art and future trends. *International Journal of Engineering Business Management*, *13*, 1–26. 10.1177/18479790211032920.

Mojumder, M. R. H., Ahmed Antara, F., Hasanuzzaman, M., Alamri, B., & Alsharef, M. (2022). Electric Vehicle-to-Grid (V2G) Technologies: Impact on the Power Grid and Battery. *Sustainability*, *14*(21), 13856. 10.3390/su142113856.

Mukhtarov, S., Aliyev, F., Aliyev, J., & Ajayi, R. (2023). Renewable Energy Consumption and Carbon Emissions: Evidence from an Oil-Rich Economy. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(1), 1–12. 10.3390/su15010134.

Mumtaz, F., & Bayram, I. S. (2017). Planning, Operation, and Pro-tection of Microgrids: An Overview. *Energy Procedia*, *107*, 94–100. 10.1016/j.egypro.2016.12.137.

Mutiarin, A., Suranto., & Darumurti, D. (2017). *Public Policy in Theory and Practice*. JKSG UMY IP UMY and MIP UMY.

Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. (2020). Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, *1*(3), 86–99. 10.14710/jebt.2020.9990.

PT Vale. (2023). *Sustainable Mining Practice Implementation*. www.vale.com.

Putri, D. S., Arsalan, H., & Mariah, U. (2022). Partisipasi Publik dalam Kebijakan Investasi Energi Terbarukan di Indonesia: Perspektif Demokrasi Energi. *Jurnal Rechts Vinding: Media Pembinaan Hukum Nasional, 11(*3). 473-491. 10.33331/rechtsvinding.v11i3.1025.

Qodriyatun, S. N. (2021). Pembangkit Listrik Tenaga Sampah: Antara Permasalahan Lingkungan dan Percepatan Pembangunan Energi Terbarukan. *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial*, *12*(1), 63–84. 10.46807/aspirasi.v12i1.2093.

Rahayu, L. N., & Windarta, J. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, *3*(2), 88–98.10.14710/jebt.2022.13327.

Risky Aulia Ulfa, M. Sidik Boedoyo, N. A. S. (2019). Analisis Daur Hidup Baterai Untuk Pengembangan Kendaraan Listrik Di Indonesia Dalam Mendukung Ketahanan Energi Nasional. *Jurnal Ketahanan Energi, 7*(2), 85–101.

Succetti, F., Rosato, A., Araneo, R., Lorenzo, G. Di, & Panella, M. (2023). Challenges and Perspectives of Smart Grid Systems in Islands : A Real Case Study. *Energies, 16,* 1–37. 10.3390/en16020583.

Sudjoko, C. (2021). Strategi Pemanfaatan Kendaraan Listrik Berkelanjutan sebagai Solusi untuk Mengurangi Emisi Kabron. *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia, 2*(2), 54–68.

Supriyadi, I. (2023). *Green Defence Concept*. kompas.id.

Trisnasari, C. T., Soeprijanto, A., & Wibowo, R. S. (2016). Pemodelan dan Simulasi Sistem Proteksi Mikrogrid. *Jurnal Teknik ITS*, *5*(2), 2–6. 10.12962/j23373539.v5i2.16013.

Tulus Pangapoi Sidabutar, V. (2020). Kajian pengembangan kendaraan listrik di Indonesia: prospek dan hambatannya. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, *15*(1), 21–38. 10.22437/paradigma.v15i1.9217.

USGS. (2022). *Nickel Statistics and Information* (Issue 703).

Utami, I., Yoesgiantoro, D., & Sasongko, N. A. (2022). Implementasi Kebijakan Kendaraan Listrik Indonesia Untuk Mendukung Ketahanan Energi Nasional. *Jurnal Ketahanan Energi*, *8*(1), 49–65.

Wang, Q., & Zhang, Y. (2023). The Development of Floating Nuclear Power Platforms : Special Marine Environmental Risks, Existing Regulatory Dilemmas, and Potential Solutions. *Sustainability, 15*(4), 1-20,

Wicaksono, C. A., Supriyadi, I., & Boedoyo, M. S. (2020). Analisa Biaya Dan Manfaat Penggunaan Plts Dan Pltd (Hybrid) Perbatasan (Studi Kasus Perencanaan Satrad Tni Au Tanjung Sopi , Kab . Pulau Morotai). *Jurnal Ketahanan Energi*, *6*(2), 10–27.

Yin, C., Wu, H., Locment, F., & Sechilariu, M. (2017). Energy management of DC microgrid based on photovoltaic combined with diesel generator and supercapacitor. *Energy Conversion and Management*, *132*, 14–27. 10.1016/j.enconman.2016.11.018.

Yoesgiantoro, D. (2023). *Evaluasi Kebijakan Energi*. UNHAN RI.