

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan program transisi energi menuju emisi nol bersih (*Net Zero Emission*). Pada COP 26, pemerintah menargetkan untuk mencapai emisi nol bersih pada tahun 2060 (International Energy Agency, 2022). Emisi nol bersih merupakan suatu kondisi tercapainya pencapaian keseimbangan keseluruhan antara emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dan emisi gas rumah kaca yang dikeluarkan dari atmosfer. Beberapa strategi yang dapat diterapkan untuk mencapai NZE antara lain penggunaan energi terbarukan untuk menggantikan energi fosil, penggunaan teknologi energi yang lebih efisien, dan penerapan elektrifikasi pada sisi permintaan. Dari sisi pemanfaatan energi, Indonesia merupakan salah satu pengguna energi terbesar di wilayah Asia Tenggara (Handayani *et al.*, 2022), dimana pemenuhan kebutuhan energinya Indonesia masih didominasi sumber energi fosil, berupa batubara, minyak bumi, dan gas bumi. Sejak tahun 2010, Indonesia sudah berkomitmen untuk menurunkan gas rumah kaca seperti yang dituangkan di dalam NDC (*Nationally Determined Contribution*). Pada tahun 2015, Pemerintah Indonesia berjanji untuk mengurangi emisi gas rumah kaca terhadap skenario *Business As Usual* (BAU) selama kurun waktu 2020-2030 sebesar 29% (tanpa syarat) dan 41% (bersyarat) pada tahun 2030, serta peningkatan komitmen tanpa syarat sebesar 26% dibandingkan dengan janji tahun 2010 (Ministry of Environment and Forestry Directorate General of Climate Change, 2021). Kemudian melalui dokumen Enhanced Nationally Determined Contribution (NDC) pada tanggal 22 September 2023 menetapkan peningkatan penurunan emisi GRK menjadi sebesar 31,89% dengan kemampuan sendiri dan menjadi sebesar 43,2% dengan bantuan luar.

NZE mulai mengemuka sejak adanya COP 21 di Paris melalui deklarasi *Paris Agreement*, yang mewajibkan setiap negara menyampaikan target penurunan emisinya yang disebut dengan *NDC*. Setiap negara diberi amanat untuk menyusun target pencapaian NZE sebagai tonggak pencapaian masa depan (*expected future milestone*), dimana emisi karbon sepenuhnya diserap oleh bumi melalui berbagai

kegiatan manusia dan bantuan teknologi, sehingga tidak menimbulkan pemanasan global. Pencapaian NZE merupakan kelanjutan dari NDC yaitu melakukan komitmen nasional menuju arah pembangunan rendah karbon dan berketahanan iklim, dengan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim sebagai satu prioritas yang terintegrasi dan lintas-sektoral.

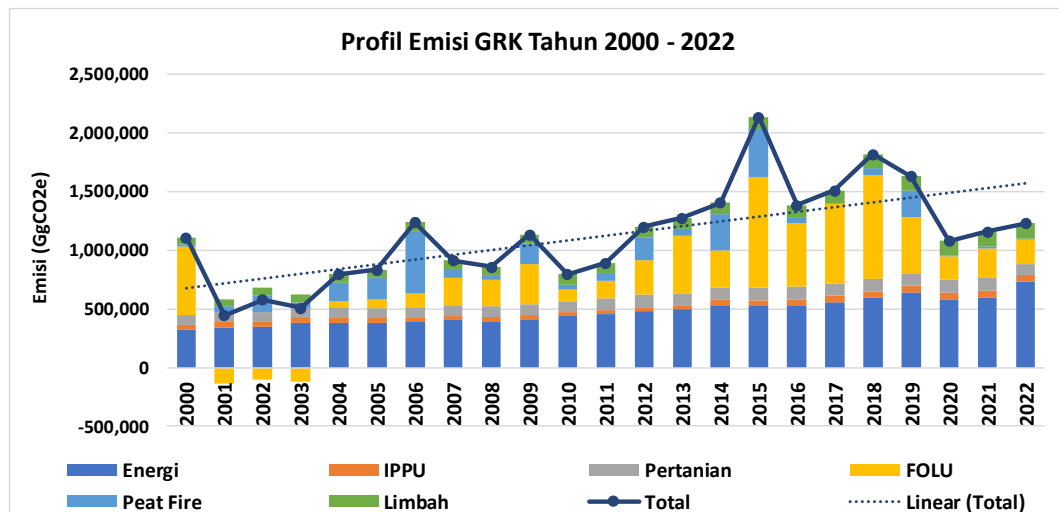
Kebijakan resmi yang mengatur mengenai pencapaian target NZE di Indonesia, hingga saat ini belum ditetapkan oleh Pemerintah. Oleh karenanya, target bahwa NZE di Indonesia akan dicapai pada tahun 2060, belum ada dasar regulasinya. Namun demikian ada beberapa kebijakan yang mendukung program *Net Zero Emission* (Karbon Netral) di Indonesia antara lain adalah:

1. Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (Pemerintah Republik Indonesia (Government of Indonesia), 2014)
2. Peraturan Pemerintah No. 40 Tahun 2025 tentang Kebijakan Energi Nasional (Government of Indonesia, 2025) yang merupakan *updating* dari PP No. 79 tahun 2014.
3. Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (Peraturan Presiden RI, 2017)
4. Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN GRK) (Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, 2011).
5. Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (Presiden RI, 2011).
6. Undang-undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change* (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim) (Presiden Republik Indonesia, 2016)
7. Peraturan Presiden No. 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional – RPJMN Tahun 2020-2024 (Pemerintah Republik Indonesia, 2020)
8. Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 tentang Nilai Ekonomi Karbon di Indonesia (Peraturan Presiden RI, 2021).

Sumber emisi gas rumah kaca yang terjadi di Indonesia, disebabkan oleh beberapa sumber, yaitu: sektor energi, Proses Industri dan Penggunaan Produk (*Industrial Processes and Product Use*, IPPU), Pertanian (*Agriculture*), Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya (*Forestry and Other Land Use*, FOLU) dan Limbah (*waste*). Dalam perhitungan GRK, perhitungan emisi di sektor Pertanian digabung dengan sektor FOLU, menjadi AFOLU. Sumber emisi tertinggi di Indonesia berasal dari deforestasi (FOLU), pembakaran bakar fosil untuk energi dan kebakaran lahan gambut (*peat fire*).

Sektor energi termasuk salah satu penyumbang emisi GRK terbesar di Indonesia. Menurut skenario LCCP (*Low Carbon Compatible with Paris Agreement Target*), Indonesia perlu secara signifikan mengurangi emisi dari sektor energi hingga mendekati nol dan meningkatkan serapan di kehutanan dan penggunaan lahan. Ini akan membutuhkan perubahan transformasional dalam sistem energi serta sistem pangan dan tata guna lahan. Sehingga perlu disusun strategi pencapaian sejumlah besar target dengan potensi trade-off di antaranya, seperti target yang berkaitan dengan ketahanan energi, ketahanan pangan, konservasi keanekaragaman hayati, menghindari deforestasi, penggunaan air tawar, penggunaan nitrogen dan fosfor, serta persaingan penggunaan lahan (Minister of Environment Life and Forestry Indonesia, 2021). Oleh karena itu, dalam penyusunan strategi pengurangan emisi GRK pada sektor energi, dibutuhkan analisis lebih mendalam berbasis pada proyeksi kebutuhan dan pemanfaatan energi dalam mencapai target NZE.

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 1.1. Profil Emisi GRK 2000 - 2022

Gambar 1.1 menunjukkan profil Emisi GRK tahun 2000 hingga 2022 sebagaimana dicantumkan dalam laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV), (Ministry of Environment and Forestry, Directorate General of Climate Change, Control, 2024). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sektor energi merupakan penghasil emisi GRK terbesar di Indonesia. Hanya pada tahun 2000, tahun 2015 hingga 2018, emisi yang dihasilkan oleh FOLU lebih besar dari sektor energi. Pada tahun 2015 meliputi Kalimantan Tengah, kemudian pada tahun 2016 – 2017 terjadi di wilayah Riau dan sekitarnya (BPS Riau). Sedangkan di tahun 2018 terjadi kebakaran hutan di Sumatera Selatan. Oleh karena itu dalam penelitian ini pencapaian kondisi NZE lebih difokuskan pada sektor energi sebagai penghasil emisi terbesar, baik secara nasional maupun global.

Dalam rangka mencapai target NZE, Pemerintah Indonesia juga sedang menyusun *Grand Strategy Energy* untuk pengembangan sektor energi untuk mencapai target ideal dalam hal ketahanan energi, bauran energi, dan pengurangan emisi. *Grand Strategy Energy* menekankan pada strategi pemenuhan kebutuhan energi nasional, guna meningkatkan neraca perdagangan, serta mengembangkan infrastruktur energi. Oleh karenanya, di dalam *Grand Strategy Energi* juga dimasukkan upaya dalam melakukan impor minyak mentah untuk memasok kilang

yang saat ini produksinya makin berkurang dan upaya membangun infrastruktur demi terlaksananya pemenuhan kebutuhan gas bumi, antara lain seperti jaringan gas kota, transmisi gas, dan LNG *receiving terminal*.

Kementerian ESDM juga menyusun beberapa strategi yang mendorong pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) untuk mendukung pencapaian target *net zero emission* (NZE). Strategi tersebut di antaranya mencakup: mandatori biodiesel, *co-firing* PLTU, pemanfaatan *Refuse Derived Fuel* (RDF), penggantian diesel dengan pembangkit listrik energi terbarukan, termasuk yang berbasis hayati, pemanfaatan non listrik/non biofuel seperti briket, dan pengeringan hasil pertanian dan biogas (Soesilo, 2020).

Dari sisi penggunaan energi, konsumsi energi Indonesia terus meningkat sesuai dengan meningkatnya perekonomian dan penduduk secara nasional. Saat ini penggunaan energi fosil masih mendominasi pemanfaatan energi, terutama di sektor transportasi yang masih menggunakan Bahan Bakar Minyak (BBM) lebih dari 95% dari seluruh konsumsi energi di sektor tersebut (Menteri ESDM RI, 2021). Oleh karena itu, untuk mencapai NZE tersebut, perlu didorong pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan sebagai bahan bakar, melalui penerapan teknologi pembangkit listrik berbasis EBT maupun teknologi pengguna energi yang efisien dan rendah karbon untuk mendorong penurunan emisi Gas Rumah Kaca.

Di sektor kelistrikan, pembangkit berbasis batubara (PLTUB) merupakan penyokong utama dalam pemenuhan beban dasar listrik nasional. Oleh karena itu, untuk mendukung pencapaian target NZE, dibutuhkan pembangkit listrik berbasis energi baru terbarukan yang memiliki kemampuan setara sebagai substitusi peranan PLTUB (PT.PLN (Persero), 2021). Dibutuhkan teknologi pembangkit listrik berbasis EBT yang memiliki kemampuannya handal untuk menggantikan PLTUB dalam memenuhi beban dasar kelistrikan, baik dari sisi potensi ketersediaan energi primernya maupun dari sisi kesiapan infrastruktur. Opsi teknologi yang paling besar peluangnya antara lain adalah Pembangkit Listrik berbasis Tenaga Surya (PLTS) yang dikombinasikan dengan Teknologi Baterai sebagai penyimpan energi (BESS) untuk mengantisipasi karakteristik intermitensi dari pembangkit listrik berbasis EBT. Penerapan teknologi energi baru terbarukan seringkali terkendala oleh

ketersediaan sumber daya energi yang tidak berkelanjutan. Oleh karena itu, untuk mengatasi resiko terjadinya intermitensi akibat penerapan pembangkit listrik berbasis EBT, perlu diterapkan teknologi BESS sebagai pembangkit listrik cadangan (Reihani *et al.*, 2016).

Dalam penyusunan strategi pencapaian kondisi NZE dari suatu negara, pemodelan sistem energi menjadi sangat penting. Melalui pemodelan, optimasi dan simulasi sistem energi, termasuk sistem pembangkitan listrik, dilakukan analisis sistem energi berbasis komputasi terhadap berbagai skenario dengan asumsi kondisi teknis dan ekonomi yang ada. Berdasarkan model tersebut, dilakukan perhitungan untuk mencari sistem energi dan sistem pembangkitan listrik yang paling optimal dalam penggunaan sumber daya energi guna memenuhi kebutuhan energi nasional dalam kurun waktu tertentu. Selanjutnya, perlu dilakukan analisis biaya manfaat atau CBA (*Cost Benefit Analysis*) atas perubahan bauran pembangkit listrik nasional dari dominasi pembangkit listrik berbasis fosil menjadi pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan hasil dari optimisasi dalam skenario NZE, Analisis biaya manfaat mengacu pada evaluasi perubahan hasil ekonomi yang dihasilkan dari inisiatif kebijakan publik, yang mencakup proyek investasi publik, reformasi kebijakan transfer pajak, peraturan, atau pengeluaran sosial. Materi dari CBA termasuk mengidentifikasi ruang lingkup kebijakan yang sedang dievaluasi, pengaruhnya terhadap alokasi sumber daya dan harga, konsekuensi bagi kesejahteraan individu yang terkena dampak, dan ukuran global dari perubahan kesejahteraan yang menggabungkan perubahan kesejahteraan individu.

B. Perumusan Masalah

Pemenuhan kebutuhan energi Indonesia yang sangat besar, saat ini didominasi oleh energi fosil, berupa batubara, minyak bumi dan gas. Indonesia diharapkan dapat mencapai kondisi karbon netral atau *Net Zero Emission* (NZE), dimana sumber daya yang digunakan untuk memasok energi berasal dari energi baru dan terbarukan dan teknologi yang tidak menghasilkan emisi karbon dalam pemanfaatannya. Untuk mencapai kondisi NZE dalam suatu negara perlu dilakukan berbagai upaya mitigasi terhadap teknologi energi yang digunakan dalam berbagai

sektor. Dalam studi ini dilakukan analisa penurunan emisi di sektor energi, dimana dilakukan proyeksi kebutuhan dan penyediaan energi serta emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari pemanfaatan energi dengan melakukan perencanaan energi nasional. Saat ini hampir semua negara diharapkan akan mencapai *Net Zero Emission* (NZE) sebelum tahun 2100. Demikian juga dengan Indonesia yang juga diharapkan dapat mencapai kondisi karbon netral atau *Net Zero Emission* (NZE), dimana sumber daya yang digunakan untuk memasok energi berasal dari energi baru dan terbarukan dan teknologi yang tidak menghasilkan emisi karbon dalam pemanfaatannya. Untuk mencapai kondisi NZE ini maka perlu dilakukan perencanaan energi yang optimal untuk menyusun strategi penyediaan energi jangka pendek, menengah, maupun panjang, secara terintegrasi dan berkelanjutan, Pemenuhan kebutuhan energi setiap sektor pengguna, dilakukan melalui pemilihan teknologi yang tepat dengan memperhatikan dampaknya terhadap aspek teknis, ekonomi, sosial dan lingkungan, sekaligus memanfaatkan potensi sumberdaya energi lokal seoptimal mungkin. Dalam konteks pencapaian target NZE, maka secara paralel perlu dilakukan analisa penurunan emisi di sektor energi, melalui proyeksi kebutuhan dan penyediaan energi serta emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari berbagai skenario pemanfaatan energi.

Perencanaan energi suatu negara merupakan upaya menyusun strategi penyediaan energi jangka pendek, menengah, maupun panjang, secara terintegrasi dan berkelanjutan, untuk memenuhi kebutuhan energi setiap sektor pengguna, melalui pemilihan teknologi yang tepat dengan memperhatikan aspek teknis, ekonomi, sosial, konservasi maupun lingkungan dan dengan memanfaatkan potensi sumberdaya energi lokal seoptimal mungkin. Pembangkit listrik berbasis EBT yang dipertimbangkan dapat mensubstitusi pembangkit berbasis fosil antara lain adalah PLTS, PLTN dan BESS. Diharapkan dari hasil penelitian ini akan menghasilkan proyeksi pencapaian kondisi NZE yang lebih realistis, yaitu dalam melakukan optimasi tidak menggunakan *constrain* berupa target tahun, sehingga teknologi berbasis fosil masih dapat digunakan sesuai dengan umur pakaiannya akan terus berjalan, tidak langsung dilakukan *phase out*, namun tidak dilakukan penambahan kapasitas teknologi berbasis fosil lagi setelah tahun dasar (*base year*). Pada skenario

lain dalam melakukan proyeksinya memasukkan constraint berupa target tahun, sehingga perlu dilakukan phase out terhadap teknologi berbasis fosil (terutama pembangkit listrik). Dalam penelitian ini perangkat lunak yang digunakan adalah LEAP (*Low Emissions Analysis Platform*) yang didukung dengan optimizer NEMO (*Next Energy Modeling system for Optimization*) dengan metode optimisasi biaya terkecil (*least-cost optimization*). Diharapkan dari hasil optimisasi tersebut akan diperoleh perencanaan energi master yang akan digunakan sebagai salah satu masukan dan rekomendasi bagi Pemerintah untuk mengambil tindakan dalam merealisasikan kegiatan energi nasional.

Adanya penerapan dominasi pembangkit listrik baru dan terbarukan pada skenario NZE memerlukan analisis biaya manfaat untuk mengetahui dampak ekonomi, sosial dan lingkungan terhadap penerapan skenario tersebut. Selanjutnya dengan adanya analisis biaya manfaat pada penerapan skenario NZE terhadap skenario dasar akan memberikan masukan kepada Pemerintah dan institusi pengambil keputusan lainnya. Menurut Atkinson (Atkinson and Mourato, 2008) analisis biaya-manfaat atau CBA, mengacu pada ekonomi penilaian kebijakan dan proyek yang memiliki tujuan untuk meningkatkan penyediaan jasa lingkungan atau tindakan yang mungkin mempengaruhi lingkungan sebagai konsekuensi tidak langsung. Oleh karena itu CBA akan memberikan penilaian lingkungan terhadap penerapan kondisi NZE.

Rumusan masalah yang akan dijawab melalui penelitian ini, adalah:

- a. Apa dampak lingkungan yang terjadi dari pengembangan pembangkit listrik berbasis EBT untuk mencapai kondisi NZE tersebut?
- b. Apa jenis teknologi yang bisa diterapkan untuk mencapai target *Net Zero Emission* di Indonesia, yang sesuai dengan kondisi teknis, ekonomi dan lingkungan, untuk mewujudkan kemandirian dan ketahanan energi nasional?
- c. Pada tahun berapa Indonesia dapat mencapai kondisi NZE secara optimal?
- d. Bagaimana rekomendasi dan alternatif masukan yang akan dikeluarkan dari hasil optimalisasi pembangkit listrik pada kondisi NZE tanpa batas waktu?

Diharapkan dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian di atas, melalui penelitian ini diharapkan akan menjawab permasalahan mengenai proyeksi jenis teknologi yang akan diterapkan, indikasi dari waktu tercapainya NZE di Indonesia tanpa target waktu, serta menjelaskan dampak lingkungan dari penerapan dari teknologi yang digunakan.

C. Orisinalitas/Novelty dari Studi

Dalam mencapai target Net Zero Emission pada sistem pembangkitan listrik di Indonesia, studi yang telah dilakukan adalah dengan membuat target tahun yang harus dicapai, misalnya tahun 2050, tahun 2060 atau tahun 2070 (studi yang dilakukan Bappenas) dengan menggunakan perangkat lunak Sistem Dinamika. Melakukan penetrasi penggunaan energi baru terbarukan (EBT) serta teknologi rendah karbon terutama pada bahan bakar pembangkit listrik.

Orisinalitas dari penelitian ini adalah pencapaian target NZE dengan memproyeksikan kondisi sistem pembangkitan listrik di Indonesia dengan tidak menentukan tahun atau waktu perkiraan pencapaian target NZE. Penelitian ini dilakukan dengan memproyeksikan target NZE menggunakan perangkat lunak LEAP **tanpa waktu tertentu (*fix time*)**, dimana waktu tercapainya NZE menjadi variabel yang ditentukan (*decision variable*). Proyeksi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak LEAP dengan metode *least cost optimization*, dimana dilakukan penetrasi penggunaan energi baru terbarukan terutama pada bahan bakar pembangkit listrik.

Penelitian ini dilakukan dengan mengakomodir besaran sumberdaya energi nasional, serta tetap menerapkan program Pemerintah yang sedang berjalan, kondisi NZE dapat dicapai tanpa melakukan penghapusan terhadap suatu teknologi yang sedang berjalan sesuai dengan nilai ekonominya sekaligus melakukan konservasi energi di sektor pengguna, perlu dilakukan penelitian mengenai target NZE tanpa menentukan waktu pencapaiannya. Meskipun melakukan proyeksi tanpa batas waktu (*fix time*), namun tetap membutuhkan batas akhir proyeksi yang cukup panjang dalam penelitian ini. Proyeksi dilakukan hingga tahun 2100 yang merupakan batas tahun maksimal untuk menargetkan kondisi NZE dalam suatu

negara (van Soest, et al, 2021). Menurut van Soest, dalam menurunkan temperatur global sebesar 1,5° Celcius dan 2° Celcius, Indonesia merupakan salah satu negara yang diproyeksikan penurunan emisinya hingga 2100. Dari hasil penelitian ini, diharapkan sebelum tahun 2100, NZE di sektor pembangkit listrik akan dicapai untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia. Selain digunakan dalam bahan bakar pembangkit listrik, bahan bakar berbasis EBT juga digunakan sektor transportasi, sektor industri, dan sektor komersial dengan melakukan substitusi bahan bakar serta melakukan konservasi energi. Kemudian dari hasil bauran pembangkit listrik akan dianalisis pembangkit berbasis EBT yang digunakan sebagai pengisi beban dasar listrik.

Adapun penelitian-penelitian lain yang terkait dengan studi ini yang pernah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1. Review Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
1.	Medrilzam, MPE/2021 (Direktur Lingkungan Hidup Bappenas)	Pembangunan Rendah Karbon Indonesia & <i>Net-Zero Emission</i> Menuju Ekonomi Hijau	Merupakan paparan hasil penelitian mengenai target NZE di Indonesia dengan menggunakan perangkat lunak Sistem Dinamik. Dalam studi ini terdapat 4 skenario target pencapaian NZE di Indonesia, yaitu pada tahun 2045, 2050, 2060 dan 2070 dengan mempertimbangkan	Pada studi tersebut, tidak disebutkan kapasitas dari pembangkit listrik setiap tahunnya, sehingga sulit diperkirakan besaran pembangkit yang digunakan, dan juga sulit memperkirakan dampak yang dihasilkan. Pada penelitian yang

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			sektor mitigasi emisi: Energi, <i>land-use</i>, dan <i>waste</i>. Pada sektor energi, bauran jenis pembangkit listrik yang dipertimbangkan adalah PLTUB, PLTG, PLTN, PLTA, PLTS+PLTB, PLTP dan EBT Lainnya untuk setiap skenario.	akan dilakukan jenis pembangkit dan teknologi yang digunakan akan dioptimalisasi sehingga dihasilkan bauran jenis pembangkit listrik dan teknologi yang optimal untuk substitusi PLTUB dalam memenuhi listrik beban dasar. Dengan memasukkan beberapa skenario jenis pembangkit dan teknologi diharapkan akan dihasilkan skenario yang paling optimal, untuk selanjutnya dapat diperhitungkan dampak lingkungan dari jenis teknologi yang digunakan.

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
				Setelah memperoleh bauran yang optimal, kemudian dilakukan analisis lingkungan.
2.	Prof. Christian Breyer, et.al/2021(Breyer et al., 2021)	<i>Deep decarbonization of Indonesia's energy system - A pathway to zero emissions by 2050 cooperate with IESR</i>	Studi ini memberikan 3 skenario dalam mencapai target NZE di Indonesia pada tahun 2050, yaitu berupa: a. Kebijakan saat ini, b. Kebijakan Tertunda dan c. Kebijakan Terbaik. EBT yang mendominasi untuk dimanfaatkan adalah berupa tenaga surya (sebesar 88%) untuk penyediaan listrik. Efisiensi dari PLTS masih rendah, sehingga perlu kapasitas cukup besar. Selain itu mengingat	Studi tersebut tidak menjelaskan kebijakan apa yang dimaksud dalam skenario yang digunakan (merupakan asumsi dari peneliti). Dalam penelitian ini akan menyelaraskan kebijakan yang dibuat oleh Pemerintah agar dapat diperoleh bauran pembangkit listrik yang optimal serta serta menerapkan teknologi yang mendukung pemanfaatan EBT (mis: BESS) untuk mencapai

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			intermittency dari PLTS, di studi ini belum mempertimbangkan BESS untukantisipasi PLTS dalam memasok listrik beban dasar.	target NZE di Indonesia. Diharapkan hasilnya dapat menjadi masukan bagi Pemerintah untuk menentukan regulasi, termasuk pengaruh penggunaan teknologi terhadap lingkungan
3.	Nadhilah Reyseliani, Widodo Wahyu Purwanto/2021 (Reyseliani and Purwanto, 2021)	<i>Pathway towards 100% renewable energy in Indonesia power system by 2050</i>	Studi ini memberikan gambaran bauran pembangkit listrik di Indonesia menggunakan 100% EBT dan dibandingkan dengan kondisi BAU. Studi ini memproyeksikan optimalisasi pembangkit listrik hingga tahun 2050, dengan penggunaan 100% EBT belum mencapai target	Pada penelitian tersebut tidak dibahas kebutuhan listrik dari setiap sektor pengguna yang harus dipenuhi oleh bauran pembangkit listrik. Pada skenario 100% EBT, tidak terjadi penurunan kebutuhan listrik. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			NZE. Optimalisasi menggunakan perangkat lunak TIMES.	kebutuhan listrik skenario BAU dan NZE, dimana pada demand skenario NZE akan dilakukan konservasi energi yang akan dipenuhi oleh skenario penyediaan energi yang berbeda. Proyeksi akan dilakukan hingga tahun 2070.
4.	L. Sani, D, Khatiwada/2021(Sani et al., 2021)	<i>Decarbonization pathways for the power sector in Sumatra, Indonesia</i>	Penelitian ini membuat 4 skenario dengan menggunakan perangkat lunak LEAP untuk memperoleh gambaran bauran pembangkit listrik di Sumatera yang berdampak pada pengurangan karbon (emisi). Penelitian ini fokusnya pada	Penelitian tersebut hanya merupakan bauran energi kelistrikan di wilayah Sumatera. Sedangkan dalam penelitian ini mencakup proyeksi penyediaan energi seluruh Indonesia dengan memanfaatkan dan

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			teknologi bioenergi.	mengoptimalkan semua jenis pembangkit EBT yang dapat dikembangkan di Indonesia dalam rangka mencapai target NZE.
5.	Ariane Millot/2020 (Milot et al., 2020)	<i>Guiding the future energy transition to net-zero emissions: Lessons from exploring the differences between France and Sweden</i>	Penelitian yang menggambarkan optimalisasi jenis pembangkit di negara Perancis dan Swedia, dimana Perancis mencapai NZE di tahun 2050, dan Swedia pada tahun 2045. Sejak tahun 1970 (krisis energi), kedua negara ini beranjak dari penggunaan bauran pembangkit listrik yang sama dengan menggunakan PLTN sebagai pemenuhan beban dasar, namun kemudian Swedia menggunakan	Penelitian ini menggambarkan kondisi bauran kelistrikan di Indonesia yang saat ini masih sangat tergantung pada batubara dalam pemenuhan beban dasar, kemudian dengan skenario NZE melakukan perubahan bauran energi kelistrikan dengan <i>constraint</i> penurunan emisi menjadi nol/netral. Sehingga perlu memasukkan berbagai jenis teknologi

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
			bauran pembangkit berbasis EBT yang lebih variatif sehingga suplai energinya lebih efisien. Optimalisasi energi dilakukan dgn menggunakan perangkat lunak TIMES.	pembangkit berbasis EBT. Jika dibandingkan dengan penelitian di Perancis atau Swedia, seharusnya Indoensia bisa mencapai target NZE lebih dari tahun 2060 mengingat hingga saat ini PLTN belum dipertimbangkan, dimana PLTN merupakan satu2nya pembangkit berbasis EBT yang dapat memenuhi beban dasar utk menggantikan PLTUB.
6.	Dehnhardt/2022 (Dehnhardt et al., 2022)	<i>Cost-benefit analysis: What limits its use in policy making and how to make it more</i>	Penelitian ini memberikan penjelasan mengenai Analisis biaya-manfaat (CBA) yang	Pada penelitian tersebut perhitungan CBA dilakukan untuk menganalisis dan mengukur biaya

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
		<i>usable? A case study on climate change adaptation in Germany</i>	digunakan untuk membandingkan biaya moneter dan manfaat pengambilan suatu skenario yang berbeda dan dianjurkan sebagai metode yang cocok untuk menganalisis pembuatan kebijakan lingkungan untuk mengambil suatu keputusan tentang proyek dan pengaruhnya terhadap kesejahteraan masyarakat. <i>Environmental CBA</i> digunakan untuk menimbang biaya manfaat dari pilihan kebijakan yang berbeda. Penelitian dilakukan di kota Bremen, Jerman	manfaat dari suatu keputusan kebijakan lingkungan yang diambil di kota Bremen Jerman. Dalam kajian ini akan dibuat CBA terkait dengan skenario NZE yang terkait dengan lingkungan (kondisi emisi netral) hasil dari optimalisasi sistem pembangkitan listrik yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.
7.	Carolus, 2018 (Carolus <i>et al.</i> ,	<i>Methodological and Ideological</i>	Studi ini menyelidiki	Dalam studi ini CBA akan

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
	2018)	<i>Option: A Bottom-up Approach to Environmental Cost-Benefit Analysis</i>	kemungkinan kelebihan, prasyarat, dan keterbatasan dari penerapan CBA dengan cara “bottom-up”. Studi dilakukan dengan pendekatan yang dimulai dengan masalah lingkungan yang mendasar, kemudian menilai biaya dan manfaat dari strategi dan solusi seperti yang diidentifikasi oleh pemangku kepentingan lokal dan yang terkena dampak langsung. Investigasi dilakukan di dua sungai di wilayah Swedia dan Latvia.	dilakukan secara “top-down” setelah kondisi NZE dapat diperoleh, maka dilakukan analisis biaya manfaat dari penerapan teknologi yang digunakan dalam rangka mencapai kondisi NZE tersebut. Baik teknologi pembangkit, pengurangan biaya impor dan penurunan biaya emisi.
8.	Fan Jing Li, et al/2020(Fan et al., 2020)	<i>Cost-benefit comparison of carbon capture, utilization, and storage Retrofitted to</i>	Studi ini mengembangkan evaluasi terhadap keputusan investasi pada penangkapan karbon,	Studi ini menganalisis perbandingan CBA dari teknologi CCS untuk beberapa

No.	Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Analysis
		<i>different thermal power plants in China based on real options approach</i>	pemanfaatan, dan penyimpanan (CCUS) dipasang ke tiga jenis utama pembangkit listrik termal di China dengan pembangkit listrik dan emisi CO ₂ yang sama tingkat. Hasilnya menunjukkan benefit/manfaat terjadi pada pembangkit listrik gas NGCC. Hal ini memberikan keuntungan ekonomi yang lebih besar dibandingkan kedua jenis tanaman lainnya sebagai keuntungan investasinya negatif jika CO ₂ yang ditangkap digunakan untuk peningkatan pemulihan air	jenis pembangkit listrik di Cina. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan tidak akan mengintegrasikan 2 jenis model untuk mendapatkan analisisnya. Yang dilakukan adalah hasil optimasi LEAP yang akan menghasilkan besaran kapasitas pembangkit yang optimal untuk mencapai target NZE, kemudian seluruh hasil dari kedua skenario dianalisa biaya dan manfaatnya.

Berdasarkan studi sebelumnya, hasil optimalisasi di sektor pembangkit listrik

dalam memenuhi target NZE akan memilih opsi teknologi berbasis EBT yang dapat memenuhi kebutuhan listrik. Oleh karenanya akan terdorong pemanfaatan PLTN, PLTS, serta *Battery Energy System Storage* (BESS), yang akan mendominasi pembangkit listrik berbasis EBT untuk menggantikan PLTUB. Kondisi *Net Zero Emission* merupakan skenario dari kebijakan yang diambil oleh Pemerintah. Untuk itu perlu dilakukan Analisis Biaya Manfaat (*Cost Benefit Analysis* atau CBA) untuk menilai dampak dari kebijakan yang ditentukan terhadap kesejahteraan masyarakat. Menurut laporan *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use* yang diterbitkan OECD tahun 2018 (Hanley and Spash, 1993), Analisis biaya-manfaat lingkungan (ECBA) merupakan penerapan CBA pada proyek atau kebijakan yang memiliki tujuan yang disengaja untuk perbaikan lingkungan atau tindakan yang entah bagaimana mempengaruhi alam lingkungan sebagai akibat tidak langsung.

D. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Memperoleh analisis dampak lingkungan dari pemanfaatan teknologi pembangkit listrik berbasis EBT dalam mencapai target Emisi Netral atau *Net Zero Emission* (NZE) di Indonesia.

2. Tujuan Khusus

Dengan melakukan analisis dampak lingkungan pada kondisi tercapainya *Net Zero Emission* di Indonesia, maka diharapkan dari hasil penelitian ini akan:

- a. Menghasilkan informasi mengenai teknologi infrastruktur energi yang layak dari sisi teknis, ekonomi dan lingkungan, untuk mewujudkan kemandirian dan ketahanan energi nasional yang bertujuan untuk mewujudkan program *Net Zero Emission* dapat terealisasi di Indonesia.
- b. Mengidentifikasi waktu ketercapaian target net zero emission dengan optimalisasi sistem pembangkitan listrik dan sistem energi yang diprediksi secara realistis.

- c. Menghasilkan analisa biaya manfaat (CBA) dari kondisi *Net Zero Emission* sebagai evaluasi perubahan hasil ekonomi dan lingkungan yang dihasilkan dari inisiatif kebijakan.
- d. Membuat peta jalan mengenai pengembangan Teknologi berbasis Energi Baru Terbarukan yang mendukung tercapainya NZE

E. Manfaat Penelitian

- **Manfaat Akademis:**
Penelitian dapat mencari solusi mengenai prediksi waktu yang optimal untuk Indonesia mencapai target *Net Zero Emission* (NZE), dan jenis teknologi energi yang tepat untuk dikembangkan dalam mencapai target NZE secara nasional serta dengan adanya proyeksi pengembangan teknologi yang tepat, sehingga memperkirakan biaya pembangunan dan pengembangan secara efisien.
- **Manfaat Praktis:**
Penelitian dapat memperkirakan dampak lingkungan dari berkurangnya pengaruh emisi GRK yang akan terjadi apabila target NZE tercapai dari optimalisasi sistem pembangkitan listrik termasuk sistem energi, yaitu dengan melakukan studi Analisis Biaya Manfaat (CBA) terhadap kondisi teknologi pembangkit listrik berbasis EBT yang akan dikembangkan, pengurangan emisi GRK dan manfaat dari pengurangan impor BBM.
- **Manfaat untuk Pemerintah:**
Dari hasil yang optimalisasi dapat memberi masukan dan rekomendasi kepada Pemerintah dan *stakeholder* terkait untuk dapat menerapkan teknologi yang tepat serta memberikan gambaran mengenai biaya pengembangan teknologi serta memberikan gambaran tercapainya kondisi emisi netral di Indonesia yang optimal.