

# MENINJAU ULANG ENERGI DI ASIA TENGGARA

MEMBENTUK MASA DEPAN KITA DENGAN PETA JALAN  
YANG JELAS MENUJU NETRALITAS KARBON

Dengan semakin cepatnya pergeseran global menuju netralitas karbon (net zero), kesempatan negara-negara di Asia Tenggara untuk beralih ke energi bersih pun semakin besar. Dengan memprioritaskan penyebaran energi terbarukan, negara-negara Asia Tenggara bisa mempercepat dekarbonisasi dan membuka manfaat yang lebih banyak. Untuk menggambarkan langkah-langkah yang diperlukan menuju netralitas karbon dengan biaya yang optimal, Wärtsilä telah membuat model sistem energi masa depan di Vietnam, Filipina, dan Indonesia.

Masing-masing negara memiliki kondisi geografis, dinamika ekonomi dan sosial, serta sistem energi yang berbeda. Meski demikian, pemodelan kami menunjukkan bahwa netralitas karbon dapat diterapkan secara teknis dan komersial oleh ketiga negara tersebut. Netralitas karbon bukanlah peluang yang terlalu jauh untuk dicapai. Model kami telah memberikan peta jalan yang jelas terkait upaya percepatan perluasan energi terbarukan dalam satu dekade ke depan guna mewujudkan sistem energi dengan netralitas karbon pada pertengahan Abad ke-21. Ini menjadi rencana strategis yang dapat diaplikasikan di seluruh kawasan Asia Tenggara.

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR:</b> Bagaimana Asia Tenggara memandang sektor energi di masa depan dan mewujudkan transisi ke energi terbarukan	2
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>	4
<b>VIETNAM:</b> Langkah-langkah penting bagi Vietnam menuju netralitas karbon	8
<b>FILIPINA:</b> Filipina bisa memulai investasi pada sektor listrik berkelanjutan dengan membuka jalur menuju dekarbonisasi	16
<b>INDONESIA:</b> Menyelaraskan visi netralitas karbon Indonesia dengan eksekusi yang terarah	25
<b>KESIMPULAN</b>	31
<b>METODOLOGI</b>	34
<b>DAFTAR REFERENSI</b>	35

# KATA PENGANTAR

## Bagaimana Asia Tenggara memandangi sektor energi di masa depan dan mewujudkan transisi ke energi terbarukan



### Frederic Carron

Wakil Presiden untuk Wilayah Timur Tengah dan Asia  
Wärtsilä Energy

Asia Tenggara dengan cepat muncul sebagai raksasa ekonomi global, di mana perekonomian negara-negara di dalamnya meningkat lebih dari dua kali lipat sejak tahun 2000. Pertumbuhan ini sebagian besar didorong oleh bahan bakar fosil. Namun, kawasan ini dihadapkan dengan isu energi yang kompleks. Rata-rata nilai impor bahan bakar fosil tahunan mencapai US\$ 43 miliar atau 1,7% dari Produk Domestik Bruto (PDB) setempat dalam satu dekade terakhir. Berdasarkan harga komoditas saat ini, biaya tersebut diperkirakan akan meningkat secara signifikan<sup>1</sup>. Badan Energi Internasional (IEA) memperkirakan bahwa impor bahan bakar dan kerentanan atas keamanan energi akan meningkat tajam di Asia Tenggara sehingga dibutuhkan perencanaan jelas dan tindakan berani untuk mempercepat transisi energi menuju energi terbarukan.

Pada saat yang sama, komitmen netralitas karbon (net zero) berkembang pesat di seluruh dunia yang mencakup 91% dari PDB global<sup>2</sup>. Upaya netralitas karbon yang selaras dengan berbagai temuan ilmiah ini menjadi rujukan dasar bagi banyak negara, perusahaan, kota, dan wilayah. Dari situ, langkah jelas menuju netralitas karbon dengan cepat menjadi prasyarat dalam perdagangan internasional. Peluang besar ada di depan mata bagi negara-negara yang berkomitmen terlibat di dalamnya, yang mana menurut perkiraan Bank Dunia wilayah Asia-Pasifik dapat menciptakan pertumbuhan US\$ 47 triliun pada tahun 2070 melalui transisi menuju netralitas karbon. Rencana Jaringan Listrik ASEAN adalah salah satu contohnya, di mana pengembangan jaringan perdagangan energi terbarukan akan membantu kawasan ini untuk memenuhi permintaan energi hijau yang meningkat di tingkat regional dan global.

Asia Tenggara berada di garis depan dari dampak perubahan iklim yang semakin intensif—tampak dari meningkatnya ancaman gelombang panas, topan, dan banjir. Dalam pandangan kami sekarang, penting bahwa janji netralitas karbon di tingkat nasional dan tujuan dekarbonisasi direalisasikan di seluruh kawasan ekonomi Asia Tenggara. Laporan ini memberikan cetak biru untuk ambisi terkait.

### Merintis perubahan di sektor ketenagalistrikan

Pada tahun 2020, 40% emisi Asia Tenggara berasal dari pembangkit listrik, diikuti oleh industri (29%) dan transportasi darat (18%)<sup>3</sup>. Para pemimpin sektor ketenagalistrikan memegang kunci untuk merintis dekarbonisasi di kawasan ekonomi terkait. Semua teknologi yang dibutuhkan untuk dekarbonisasi listrik ada pada skala komersial saat ini, dan Asia Tenggara mendapat manfaat dari beragam sumber daya terbarukan, termasuk tenaga air, angin, panel sel surya, bioenergi, dan panas bumi.

Kemajuan sedang berlangsung. Energi terbarukan menyumbang hampir 25% dari total pembangkit listrik di Asia Tenggara yang mayoritas berasal dari pembangkit listrik tenaga air, di mana kawasan ini menargetkan untuk mencapai pangsa 35% dari kapasitas listrik terbarukan pada tahun 2025. Berdasarkan pengalaman kami dalam memodelkan sistem energi di seluruh dunia, porsi energi terbarukan yang lebih tinggi dapat memenuhi permintaan listrik yang meningkat pada satu dekade terakhir, sekaligus mengurangi emisi dengan drastis.

<sup>1</sup> International Energy Agency, 2022

<sup>2</sup> Net Zero Tracker, 2022

<sup>3</sup> International Energy Agency, 2022

Untuk menunjukkan potensi tersebut di Asia Tenggara, kami membuat model sistem energi di Vietnam, Filipina, dan Indonesia. Hasilnya cukup menyita perhatian. Membangun sistem energi terbarukan yang fleksibel di negara-negara ini tidak memerlukan biaya yang lebih mahal daripada menjalankan sistem energi yang sudah ada. Seperti yang telah ditunjukkan oleh pemodelan kami di wilayah lain di seluruh dunia, beralih dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan secara signifikan mengurangi pengeluaran operasional pada sistem energi. Ini karena jaringan listrik terbarukan yang fleksibel membutuhkan tingkat keseimbangan bahan bakar yang minimal dan perawatan yang terjangkau. Faktanya, dengan mencapai netralitas karbon, ketika memperhitungkan pajak karbon yang diperkirakan oleh IEA, rata-rata biaya ketenagalistrikan (LCOE) dari sistem energi berbasis netralitas karbon justru bisa 23% lebih rendah daripada sistem berbasis energi fosil yang tidak fleksibel.

## **Fleksibilitas, sahabat energi terbarukan**

Untuk mencapai tingkat 85% energi terbarukan pada tahun 2050 yang akan sejalan dengan Perjanjian Paris sebagai traktat internasional tentang mitigasi, adaptasi, dan keuangan perubahan iklim. IEA memperkirakan bahwa Asia Tenggara harus secara kolektif menambahkan 1.100 GW kapasitas energi terbarukan dalam 30 tahun ke depan, atau setara dengan total gabungan kapasitas energi terbarukan di Tiongkok dan India saat ini.

Namun, pembangkit listrik tenaga batu bara serta pembangkit listrik tenaga gas dan uap (CCGT) yang saat ini mendominasi sistem energi di Asia Tenggara tidak dapat beradaptasi dengan sifat energi terbarukan yang intermitten, ini memaksa beberapa negara untuk membatasi sejumlah besar kapasitas energi terbarukan yang bisa dimilikinya. Agar energi terbarukan bisa menjadi sumber energi utama, jaringan listrik harus dilengkapi peralatan yang cukup untuk menyeimbangkan, menyimpan, dan mengoptimalkan energi terbarukan.

Fleksibelnya kapasitas, yang didapat melalui penyeimbangan mesin-mesin dan penyimpanan energi, menciptakan kondisi di mana energi terbarukan adalah cara yang paling murah untuk memberi daya pada jaringan listrik kita: dengan menyeimbangkan intermitten dan memastikan daya cadangan tersedia saat angin atau matahari tidak mencukupi. Dalam pandangan kami, pemborosan daya secara sistemik yang disebabkan oleh tidak fleksibelnya infrastruktur listrik perlu segera ditangani oleh pemerintah dan pemangku kepentingan di Asia Tenggara demi mewujudkan potensi sumber energi terbarukan dan terjangkau.

## **Memahami interaksi antara jangka pendek dan jangka panjang**

Pergeseran dari sistem energi yang bergantung pada bahan bakar fosil di Asia Tenggara saat ini menuntut transformasi yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam strategi sektor ketenagalistrikan, portofolio pembangkit listrik, dan operasionalnya. Pembuat kebijakan harus memainkan peran mereka dengan membentuk pasar baru dan dengan mengenali biaya sistemik dari ketidakfleksibelan yang seringkali tersembunyi atau tersebar di seluruh portofolio bahan bakar fosil.

Laporan ini bertujuan untuk membantu negara-negara Asia Tenggara menentukan sistem tenaga listrik yang optimal di masa depan. Melalui pemodelan sistem energi dan pengalaman kami di lapangan, kami dapat menguraikan langkah-langkah kunci yang dapat dilakukan Vietnam, Filipina, dan Indonesia, serta negara-negara lain di Asia Tenggara untuk memanfaatkan sepenuhnya sumber energi terbarukan dan membuka kunci sistem energi netralitas karbon dengan biaya dan risiko seminimal mungkin, namun tetap mampu mencapai keandalan dan keterjangkauan maksimum.



**Pemangku kebijakan perlu memainkan peran mereka dengan membentuk pasar baru dan dengan mengakui biaya sistemik dari ketidakfleksibelan.**



## RINGKASAN EKSEKUTIF

Asia Tenggara sedang mengalami badai kenaikan dan volatilitas harga bahan bakar yang belum pernah terjadi sebelumnya, peningkatan permintaan listrik dari tahun ke tahun, hingga paparan terhadap dampak perubahan iklim yang semakin intensif.

Di tengah ketidakpastian ini, para pemimpin memiliki kesempatan untuk mengubah kehidupan sebuah generasi dengan mengubah sistem energi yang tidak hanya mengatasi masalah di atas, tapi juga menciptakan sistem energi yang berkelanjutan dan terukur untuk masa depan. Transisi ke netralitas karbon (net zero) adalah upaya puluhan tahun yang kompleks yang membutuhkan perencanaan sistem energi yang mendalam dan tingkat implementasi yang cepat dan harus dimulai pada dekade ini. Dengan memprioritaskan penyebaran energi terbarukan, negara-negara Asia Tenggara dapat mempercepat dekarbonisasi dan membuka banyak manfaat darinya. Jika mereka mengambil pendekatan 'business as usual', mereka berisiko tertinggal oleh pasar dan dilewatkan oleh investor.

Untuk membantu Asia Tenggara mempercepat dekarbonisasi, Wärtsilä telah memodelkan tiga sistem energi yang berbeda—yakni di Vietnam, Filipina, dan Indonesia—untuk memberikan peta jalan menuju sistem energi bersih masa depan serta membantu negara-negara di kawasan tersebut menemukan langkah optimal mereka menuju netralitas karbon. Kami telah menggunakan PLEXOS, perangkat lunak terdepan untuk simulasi pasar energi, dalam membuat pemodelan sistem energi yang disajikan dalam laporan ini.

Sistem tersebut dipilih karena mencerminkan geografi, masyarakat, dan sistem kelistrikan yang berbeda. Dengan memodelkannya, kita dapat menyoroti kesamaan yang dapat dimanfaatkan oleh semua negara Asia Tenggara untuk menemukan langkah optimal menuju netralitas karbon pada pertengahan abad ini. Tiga negara yang menjadi fokus pemodelan memiliki ambisi netralitas karbon yang berbeda satu sama lain. Vietnam telah menetapkan target netralitas karbon pada tahun 2050, sementara Indonesia menargetkan hingga tahun 2060 untuk mencapai netralitas karbon. Adapun Filipina belum secara terang-terangan mengkomunikasikan target netralitas karbon, namun telah berkomitmen mengalokasikan 35% pangsa listrik untuk energi terbarukan pada tahun 2030 dan 50% pada tahun 2040. Kami telah memodelkan sistem ketenagalistrikan berbasis netralitas karbon untuk ketiga negara dalam rentang waktu tersebut.

Setiap negara berada pada titik awal yang berbeda dan memiliki akses ke sumber daya yang berbeda yang mempengaruhi jalur optimal mereka untuk menghentikan penggunaan batu bara, menambahkan solusi energi yang fleksibel, dan beralih ke energi terbarukan. Nuklir adalah salah satu opsi pembaruan pada perangkat lunak pengoptimalan PLEXOS yang bisa dipilih, namun faktanya hasil pemodelan ketiga negara tidak menunjukkan nuklir sebagai bagian dari sistem energinya. Langkah dengan opsi biaya terendah menuju netralitas karbon terdiri dari energi terbarukan dan teknologi fleksibel, di mana menambahkan nuklir akan menyebabkan total biaya sistem yang lebih tinggi bagi negara-negara tersebut. Tiga model negara tersebut memberikan peta jalan yang jelas untuk ekspansi energi terbarukan secara cepat dalam dekade berikutnya, serta rencana aksi jangka panjang untuk menciptakan sistem tenaga netralitas karbon pada pertengahan Abad ke-21.

## Temuan Utama:

### 1. Netralitas karbon dapat diterapkan secara teknis dan komersial untuk sistem tenaga listrik Asia Tenggara

Netralitas karbon bukanlah peluang yang terlalu jauh untuk dicapai. Pemodelan kami menunjukkan bahwa hal tersebut sekarang dapat diterapkan dilihat dari segi teknis dan komersial untuk mendukung energi terbarukan dalam memenuhi hampir semua permintaan energi di negara-negara yang dijadikan model, yang mana didukung oleh perpaduan teknologi dan bahan bakar berkelanjutan. Sistem tenaga netralitas karbon meliputi:

- Energi terbarukan, termasuk angin dan surya fotovoltaik (PV) sebagai sumber utama energi primer, serta tenaga air, panas bumi dan bioenergi.
- Penyimpanan energi jangka pendek.
- Pembangkit dengan penyeimbang jaringan listrik yang cepat, seperti pembangkit listrik berbasis mesin yang fleksibel, untuk menyediakan kapasitas energi kuat yang dapat didistribusikan.
- Bahan bakar berkelanjutan, seperti bahan bakar berbasis hidrogen yang dihasilkan dari sumber terbarukan, untuk digunakan di pembangkit listrik guna menyeimbangkan kebutuhan musiman.

### 2. Energi terbarukan dapat memenuhi permintaan ketenagalistrikan yang meningkat dengan biaya produksi lebih rendah daripada beban dasar bahan bakar fosil.

Pemodelan terkait menunjukkan bahwa sistem energi terbarukan yang didukung oleh mesin penyeimbang jaringan listrik dan penyimpanan energi dapat memenuhi beban listrik dasar serta menghindari pemadaman untuk menciptakan kondisi yang tepat akan potensi naiknya permintaan di masa depan. Lebih lanjut, mesin penyeimbang akan siap digunakan untuk memaksimalkan pemanfaatan hidrogen setelah tersedia secara komersial, yang nantinya dapat mendorong terciptanya sistem ketenagalistrikan netralitas karbon.

**Jalur biaya terendah menuju netralitas karbon terdiri dari energi terbarukan dan teknologi fleksibel.**

Energi terbarukan yang bervariasi tidak lebih mahal dari sistem energi saat ini. Faktanya, ketika memperhitungkan perkiraan harga karbon IEA yang lebih tinggi, LCOE dalam sistem pembangkit listrik netralitas karbon dapat berkurang 20% di Vietnam pada tahun 2050; 23% lebih murah di Filipina (tepatnya di Pulau Luzon) pada tahun 2040; dan 23% lebih murah di Indonesia (tepatnya di Pulau Sulawesi) pada tahun 2060. Sejumlah kecil bahan bakar fosil masih digunakan dalam bauran energi yang optimal pada tahun 2050 sebagai bahan bakar penyeimbang. Namun, ini dapat digantikan oleh bahan bakar berkelanjutan, seperti hidrogen hijau, yang kini semakin tersedia secara luas.

### **3. Penghapusan energi batu bara harus menjadi prioritas bagi Asia Tenggara.**

Batu bara terus memainkan peran penting dalam sistem energi listrik di kawasan Asia Tenggara. Namun, dengan penurunan biaya atas energi terbarukan dan tuntutan global yang semakin meluas untuk menghapuskan batu bara secara bertahap setelah COP 26 (Konferensi Perubahan Iklim PBB 2021), sekaranglah waktunya untuk memasukkan batu bara ke dalam buku sejarah. Pemodelan menunjukkan bahwa sebagian besar pembangkit listrik tenaga batu bara, bersama dengan aset tidak fleksibel lainnya seperti CCGT, dapat dihapus secara bertahap sebelum tahun 2050, dengan unit yang tersisa melakukan penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) untuk menghilangkan emisi.

**Fleksibilitas adalah perbaikan teknologi penting yang memungkinkan energi terbarukan menjadi sumber listrik dominan untuk jaringan Asia Tenggara.**

### **4. Teknologi fleksibel diperlukan untuk mendukung integrasi energi terbarukan dan campuran daya yang optimal.**

Fleksibilitas adalah perbaikan teknologi penting yang memungkinkan energi terbarukan menjadi sumber daya dominan untuk jaringan listrik di Asia Tenggara. Di Vietnam, misalnya, kapasitas penyeimbang yang signifikan diperlukan pada dekade ini agar sistem energi berjalan optimal dan memenuhi puncak permintaan, bahkan tanpa meningkatkan energi terbarukan untuk sistem tenaga listrik netralitas karbon. Penyimpanan energi dan mesin penyeimbang jaringan listrik diperlukan dalam sistem terbarukan tingkat tinggi untuk menyeimbangkan variabilitas daya terbarukan.

Dengan mengadopsi fleksibilitas dalam skala besar, negara-negara Asia Tenggara dapat memaksimalkan investasi energi terbarukan dengan menyeimbangkan intermitensi tenaga angin dan surya, serta memungkinkan teknologi baru—seperti hidrogen hijau yang dihasilkan dari elektrolisis energi bersih—untuk ditingkatkan dan dipakai kembali sebagai solusi penyeimbangan, untuk memastikan catu daya selalu sesuai dengan permintaan.

### **5. Intervensi kebijakan diperlukan untuk membentuk pasar yang fleksibel.**

Intervensi kebijakan diperlukan untuk mendorong fleksibilitas dan integrasi energi terbarukan di Asia Tenggara. Dengan membantu membangun pasar layanan tambahan yang berfungsi dengan baik dan menyeimbangkan pasar, pemerintah dapat mendorong integrasi energi terbarukan serta meningkatkan daya saing dan keterjangkauan bagi pengguna energi.

Negara-negara Asia Tenggara juga dapat membuat mekanisme pembelian kapasitas yang fleksibel dan yang menyeimbangkan melalui perjanjian pembelian tenaga listrik (PPA) tertentu. Kontrak offtake untuk layanan tambahan atau fleksibilitas tersebut menyediakan sarana dalam mendapatkan keseimbangan dari produsen listrik independen (IPP), dengan kepemilikan aset listrik oleh sektor swasta.

Terakhir, transisi ke pasar energi yang diliberalisasi dan beragam dapat membantu meningkatkan daya saing di negara-negara model, sekaligus membuat peralihan ke sistem bertenaga terbarukan lebih cepat.

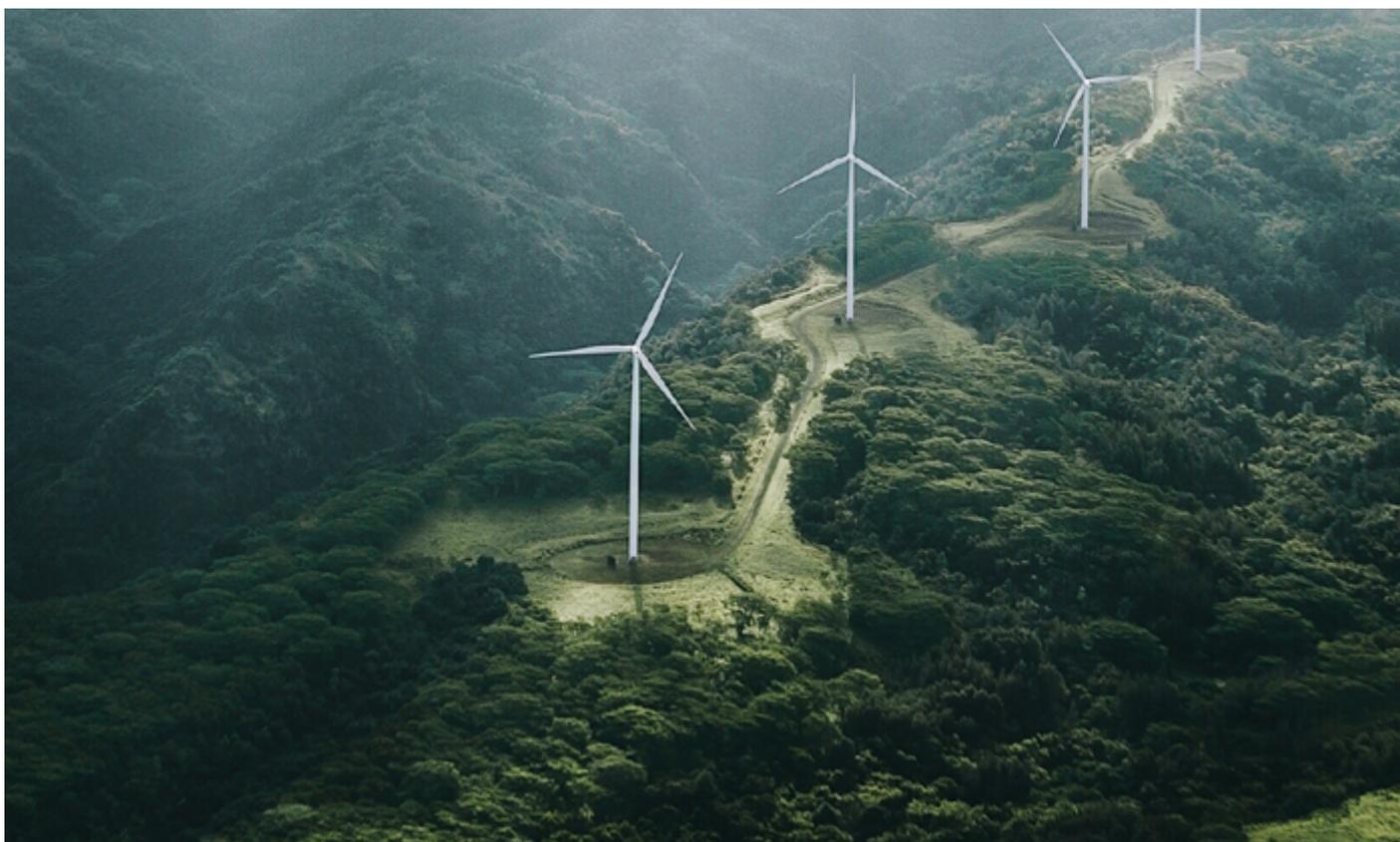
## Langkah-langkah kunci menuju netralitas karbon

Terlepas dari kompleksitas transisi sistem energi dari beban dasar bahan bakar fosil ke teknologi terbarukan, pemodelan menunjukkan bahwa Vietnam, Filipina, dan Indonesia dapat mencapai sistem netralitas karbon. Walau langkah-langkah untuk mencapai target tersebut berbeda di tiap pasar, pemodelan mengungkapkan beberapa langkah kunci yang diperlukan, secara berurutan, untuk meningkatkan energi terbarukan menjadi sumber energi yang dominan pada pertengahan abad ini, yaitu:

- Negara-negara model harus segera meningkatkan kapasitas energi terbarukan sekarang.
- Untuk mengelola intermiten energi terbarukan, mesin penyeimbang dan penyimpanan energi harus ditambahkan untuk memberikan fleksibilitas pada jaringan.
- Pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang tidak fleksibel, seperti batu bara dan CCGT, harus dihapus atau dipasang kembali dengan CCS. Investasi baru ke dalam aset yang tidak fleksibel tidak boleh dilakukan.
- Terakhir, bahan bakar berkelanjutan yang dihasilkan dari energi terbarukan, seperti hidrogen, harus ditambahkan ke dalam campuran untuk dekarbonisasi mesin penyeimbang dan mendukung sektor lain untuk dekarbonisasi.

Dengan melakukannya, negara-negara model akan melihat pengurangan progresif dalam jam operasional pembangkit listrik bahan bakar fosil yang tidak fleksibel, serta mengurangi pembatasan aset energi terbarukan. Ketika ini terjadi, peran bahan bakar dapat berubah dari beban dasar menjadi penyeimbang, sementara energi terbarukan menjadi sumber listrik utama.

Langkah-langkah ini merupakan titik awal untuk merencanakan transisi sektor ketenagalistrikan di Asia Tenggara. Laporan ini dirancang untuk memungkinkan para pemimpin energi di seluruh kawasan untuk menerapkan sistem tenaga berkelanjutan yang relevan di masa depan yang dibutuhkan semua negara dalam waktu dekat untuk menggerakkan pertumbuhan ekonomi mereka tanpa mempengaruhi iklim.





## LANGKAH-LANGKAH PENTING UNTUK VIETNAM MENUJU NETRALITAS KARBON

Dalam konferensi iklim global COP26 di Skotlandia pada 2021 lalu, Perdana Menteri Pham Minh Chinh tiba-tiba mengumumkan target Vietnam untuk mencapai netralitas karbon pada tahun 2050.

Untuk memperkuat niatnya, Vietnam juga menandatangani komitmen Transisi batu bara Global ke Tenaga Bersih, untuk segera meningkatkan energi terbarukan dan tidak membangun lebih banyak pembangkit listrik batu bara baru<sup>4</sup>. Ini adalah poros utama bagi negara tersebut yang saat ini separuh dari sistem energinya masih bergantung pada bahan bakar fosil.

Vietnam telah banyak berinvestasi dalam pembangkit listrik tenaga batu bara selama satu dekade terakhir untuk mengoperasikan kapasitas batu bara tertinggi kedua di antara negara-negara di Lintasan Selatan Sungai Mekong (Myanmar, Laos, Kamboja, Thailand, dan Vietnam). Berdasarkan janji batubara, Vietnam secara efektif berkomitmen untuk mempersiapkan 30 pembangkit listrik tenaga batu bara. Namun, lebih dari 80% pembangkit listrik batu baranya beroperasi dalam 10 tahun terakhir, dan sebagian besar belum mencapai usia pensiun<sup>5</sup>.

Namun demikian, Rencana Pengembangan Tenaga Listrik 8 (PDP8) Vietnam yang akan datang telah menunjukkan niat positif untuk meningkatkan target terbaru dibandingkan dengan rencana sebelumnya. Namun, dengan adanya rencana baru ini pun, negara tersebut kemungkinan masih akan gagal mencapai target pada tahun 2050.

<sup>4</sup> Council of the Parties, 2021

<sup>5</sup> China Dialogue, 2022

Jelas bahwa untuk mewujudkan netralitas karbon (*net zero*), Vietnam harus mengubah penggunaan energinya, dimulai dari sektor ketenagalistrikan<sup>6</sup>. Pertanyaan kunci bagi para pemimpin sektor tenaga listrik adalah, apakah mereka akan mengambil kesempatan untuk secara proaktif membentuk dinamika pasar baru dari transisi energi, atau justru mereka akan terbentuk dari dinamika yang ada.

## Tantangan menghadang: permintaan meningkat, ditambah melonjaknya biaya bahan bakar fosil

Vietnam mengalami pertumbuhan permintaan listrik tercepat di Asia Tenggara setelah pulih dari pandemi COVID-19, dengan permintaan rata-rata meningkat sebesar 5,8% pada Q1 2022 dibandingkan dengan Q1 2021, serta melebihi tingkat pra-pandemi (Q1 2019) sebesar 15,8%<sup>7</sup>.

Sama seperti meningkatnya permintaan, melonjaknya harga listrik berbahan bakar fosil meningkatkan risiko kekurangan tenaga listrik dalam beberapa tahun mendatang seiring dengan pembangkit listrik yang terpaksa mengurangi output. Misalnya, harga batu bara telah meningkat secara dramatis dalam dua tahun terakhir, dari sekitar US\$ 50 per metrik ton pada Juli 2020 menjadi lebih dari US\$ 400 per metrik ton saat ini<sup>8</sup>.

Selain itu, sejak tahun 2015, Vietnam telah bergeser dari eksportir energi menjadi importir. Pada tahun 2019, sekitar 50% batu bara yang digunakan di Vietnam berasal dari luar negeri dan impor minyak bumi menyumbang 30% dari konsumsi minyak (GSO, 2020)<sup>9</sup>. Menurut Institut Energi di bawah Kementerian Perdagangan dan Industri Vietnam (MOIT), pada kondisi saat ini, sumber daya batu bara, gas alam, dan minyak mentah domestik Vietnam diperkirakan akan bertahan masing-masing selama 70, 45, dan 18 tahun. Dalam kondisi ini, sistem bertenaga bahan bakar fosil yang ada, secara ekonomi, tidak dapat dipertahankan.

Faktor kunci lain yang mendorong memburuknya ekonomi energi bahan bakar fosil adalah pembiayaan. Investasi telah terkuras dari sektor tenaga batu bara secara global, dengan lebih dari 100 bank, perusahaan asuransi, manajer aset, dan pemilik yang signifikan secara global telah mengumumkan rencana untuk melakukan divestasi dari pertambangan batu bara dan pembangkit listrik tenaga batu bara<sup>10</sup>. Akibatnya, banyak proyek batu bara baru di Vietnam yang mengalami keterlambatan. Untuk melindungi investasi masa depan, Vietnam perlu membangun sistem tenaga bersih yang menarik investor asing.

## Sebuah jendela ke masa depan energi Vietnam

Untuk memahami biaya dan dampak lingkungan dari berbagai langkah dekarbonisasi, kami membuat empat skenario model untuk transisi energi di Vietnam pada tahun 2050. Masing-masing dari empat skenario menerapkan teknologi energi yang ada dengan biaya terendah untuk memenuhi permintaan, berdasarkan tingkat pengurangan emisi yang berbeda pada tahun 2050, serta dari sisi *business as usual* menuju netralitas karbon.

**Untuk melindungi investasi masa depan, Vietnam perlu membangun sistem ketenagalistrikan yang bersih untuk menarik investor asing.**

<sup>6</sup> S&P Global, 2022

<sup>7</sup> S&P Global, 2022

<sup>8</sup> Trading Economics, 2022

<sup>9</sup> Electricity and Renewable Energy Authority in Viet Nam & Danish Energy Agency, 2022

<sup>10</sup> Institute for Energy Economics and Financial Analysis, 2022

## Skenario pemodelan sistem energi:

- 1. Business As Usual (BAU)** – tidak ada pembatasan emisi dari sektor ketenagalistrikan. Di bawah skenario ini, Vietnam akan melepaskan 320 juta ton emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2050, tiga kali lipat dari tahun 2020, yang menempatkan target netralitas karbon jauh dari jangkauan.
- 2. Pengurangan Emisi 50%** – skenario yang menuntut pengurangan emisi sebesar 50% pada tahun 2050, dibandingkan dengan skenario BAU 2050.
- 3. Pengurangan Emisi 80%** – skenario yang menuntut pengurangan emisi sebesar 80% pada tahun 2050, dibandingkan dengan skenario BAU 2050.
- 4. Netralitas karbon** – sistem tenaga yang beroperasi dengan netralitas karbon pada tahun 2050.

Skenario mengacu pada berbagai tingkat ambisi energi terbarukan, di mana masing-masing skenario membutuhkan tingkat kapasitas terbarukan yang berbeda untuk memenuhi permintaan listrik pada tahun 2050. Skenario difokuskan murni pada sektor ketenagalistrikan daripada total sistem energi. Misalnya, Vietnam dapat memutuskan untuk mengejar pengurangan emisi sebesar 80% untuk sektor ketenagalistrikan, tetapi masih mencapai janji netralitas karbon pada seluruh sistemnya dengan mengejar percepatan pengurangan emisi karbon.

Di samping skenario BAU dan Netralitas Karbon, dua skenario perantara juga dimodelkan untuk menunjukkan sensitivitas pilihan teknologi yang berbeda dalam mengurangi emisi, sehingga menghasilkan gambaran yang lebih terperinci tentang pilihan dan trade-off yang diperlukan oleh langkah-langkah menuju netralitas karbon.

**Semua skenario sepakat bahwa untuk memenuhi permintaan yang meningkat, mewujudkan sistem netralitas karbon, dan mencapai kemandirian energi, maka energi terbarukan harus menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber utama pembangkitan. Untuk mencapai netralitas karbon pada tahun 2050, emisi sektor ketenagalistrikan Vietnam harus memenuhi targetnya pada tahun 2030.**

**Kecuali langkah-langkah kunci diambil dalam 5–8 tahun mendatang, manfaat dari sistem energi terbarukan yang tinggi tidak akan sepenuhnya terwujud.**

### Langkah saat ini akan menentukan arah jangka panjang menuju dekarbonisasi

Pergeseran dari jaringan listrik bertenaga bahan bakar fosil yang sudah mapan, sambil mengelola variabilitas terbarukan, adalah operasi kompleks yang memakan waktu bertahun-tahun. Yang terpenting, ini membutuhkan pemahaman yang jelas tentang interaksi antara jangka pendek dan jangka panjang; kecuali langkah-langkah kunci diambil dalam 5–8 tahun mendatang, manfaat dari sistem energi terbarukan yang tinggi tidak akan sepenuhnya terwujud. Untuk menunjukkan hal tersebut, hasil pemodelan sistem energi listrik disajikan sebagai lima langkah utama yang diperlukan, secara berurutan, untuk meningkatkan energi terbarukan menjadi sumber energi utama.

### Langkah 1–2: Jangka pendek (dari sekarang hingga 2030):

#### 1. Tambahkan kapasitas terbarukan secara signifikan ke sistem energi.

Keempat skenario setuju: menjalankan sistem dengan biaya yang optimal

mengharuskan Vietnam untuk membangun kondisi yang memungkinkan energi terbarukan mulai dari sekarang (termasuk tenaga air, matahari, angin, dan bioenergi) untuk menyediakan hampir 50% dari pembangkit listrik Vietnam pada akhir tahun 2030. Untuk pembangkit listrik tenaga angin dan matahari, skenario ini merupakan peningkatan dramatis dari sekitar 10% dari total pembangkit saat ini menjadi 30% pada tahun 2030.

PDP8 bertujuan untuk mendorong perluasan kapasitas terbarukan, ditambah produksi bentuk energi baru seperti hidrogen dan amonia hijau. Namun, aksi nyata diperlukan sejak dini untuk memungkinkan emisi Vietnam mencapai puncaknya pada tahun 2030, serta membuka jalan bagi rantai pasokan hidrogen hijau.

Setelah memimpin penyerapan energi terbarukan oleh negara-negara ASEAN sejak 2019, momentum Vietnam pada energi terbarukan terhenti baru-baru ini karena kurangnya mekanisme insentif untuk menggantikan skema **Feed-in Tariff** yang lama. Pemerintah Vietnam sekarang perlu membawa kerangka kebijakan generasi berikutnya untuk mendukung investasi yang diperlukan dalam energi terbarukan.

## **2. Penambahan mesin penyeimbang dan penyimpanan energi:**

Dalam setiap skenario, kapasitas penyeimbang yang signifikan diperlukan pada tahun 2030 untuk memperlancar pasokan variabel daya terbarukan dan memastikan stabilitas jaringan. Untuk mencapai hal ini, investasi harus beralih ke pabrik penyeimbang yang fleksibel untuk mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam sistem terkait. Pada tahun 2030, kapasitas penyeimbang sebesar 7 GW harus ditambahkan ke sistem ketenagalistrikan, yang disediakan oleh mesin penyeimbang jaringan listrik modular yang dapat meningkatkan beban daya penuh dalam waktu kurang dari dua menit, agar bisa menyediakan daya penyeimbang serta cadangan listrik untuk jangka panjang dan pendek.

Selain penyeimbangan jangka panjang dan musiman yang disediakan oleh kapasitas mesin, penyeimbangan jangka pendek dapat disediakan oleh penyimpanan energi, yang dapat merespons dalam sepersekian detik untuk menyeimbangkan **output**, menyimpan energi berlebih, dan mengirimkan kembali daya listrik. Pemodelan menunjukkan bahwa penyimpanan energi baterai berdurasi pendek (1–2 jam) sebesar hingga 1 GW harus dipasang pada tahun 2035.

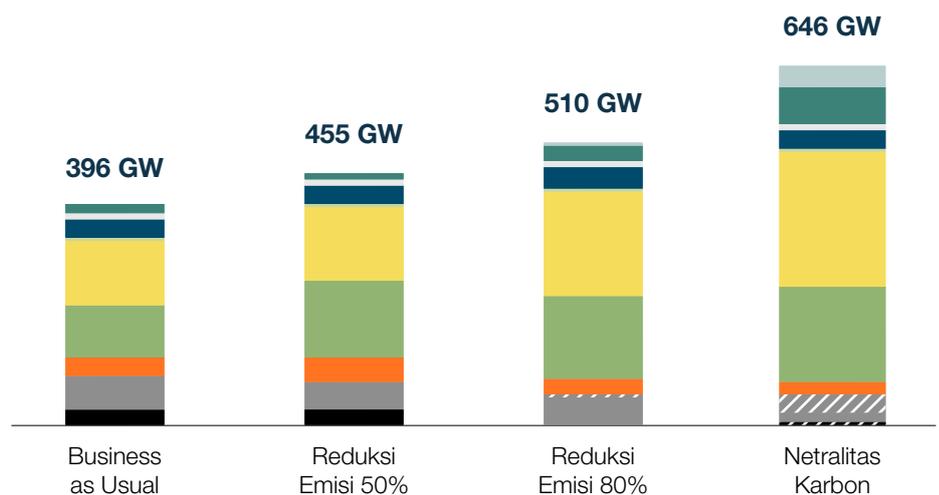
Untuk membuka peluang jaringan listrik yang fleksibel, regulator harus bertindak sekarang untuk menciptakan mekanisme pasar yang menghargai nilai aset fleksibel di pasar tenaga listrik grosir, misalnya, melalui pembayaran kapasitas untuk kapasitas fleksibel, dan pasar layanan tambahan.

## **Langkah 3–5: Jangka menengah hingga panjang (2030–2050):**

### **3. Penghapusan bertahap pembangkit listrik yang tidak fleksibel:**

Setelah ada **output** terbarukan yang memadai, ditambah dengan penyeimbangan kapasitas pembangkit listrik dalam sistem, pembangkit lama yang tidak fleksibel seperti batu bara dan minyak bumi dapat dihentikan. Skenario Netralitas Karbon dan skenario Pengurangan Emisi 80% menunjukkan bahwa penggunaan batu bara dapat mencapai puncaknya di angka 30 GW pada tahun 2025 (52% dari total pembangkitan), sebelum masing-masing mencapai 31% / 34% pada tahun 2030 dan 12% / 16% pada tahun 2035. Dalam kedua skenario, tidak ada batu bara baru yang ditambahkan ke jaringan listrik setelah tahun 2025 selain pembangkit yang sudah dibangun.

Untuk mengurangi 80% emisi Vietnam, energi terbarukan harus menyediakan 76% pembangkitan pada tahun 2050, dan untuk mencapai sistem listrik netralitas karbon, 85% pembangkitan harus merupakan energi terbarukan. 23/26 GW pembangkit listrik penyeimbang dan 29/64 GW penyimpanan energi masing-masing diperlukan di setiap skenario pada tahun 2050.



Gambar 1. Kapasitas terpasang dalam GW di Vietnam pada tahun 2050 berdasarkan skenario yang berbeda

#### 4. Konversi ke bahan bakar berkelanjutan:

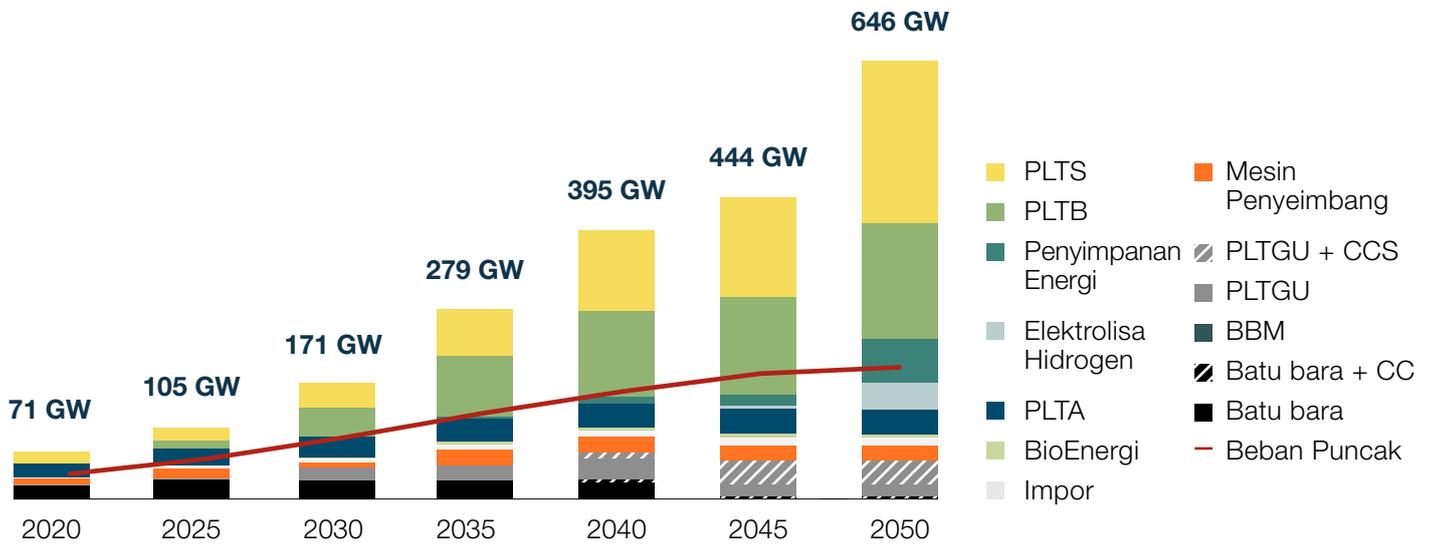
Dorongan terakhir untuk mencapai sistem tenaga emisi udara bersih memerlukan produksi bahan bakar berkelanjutan seperti hidrogen hijau, yang akan menjadi bahan bakar utama untuk menjalankan mesin penyeimbang.

Dalam skenario Netralitas Karbon, sistem 646 GW dibangun pada tahun 2050, memberikan peningkatan kapasitas sistem tenaga sebesar 63% dari 396 GW saat ini. Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) akan meningkat dua kali lipat, dari 118 GW pada skenario BAU menjadi 239 GW pada skenario Netralitas Karbon, ditambah tenaga angin akan meningkat sebesar 90% dari 90 GW pada skenario BAU pada tahun 2050 menjadi 171 GW pada tahun 2050. Selain menciptakan lebih dari cukup daya untuk pertumbuhan Vietnam, sistem Netralitas Karbon akan memiliki kelebihan listrik untuk menghasilkan 52 TWh hidrogen hijau.

Ketersediaan bahan bakar berkelanjutan seperti hidrogen hijau, pada gilirannya, akan menggantikan gas alam, dan memungkinkan mesin penyeimbang berjalan menggunakan bahan bakar karbon netral. Hidrogen hijau yang diproduksi secara lokal akan memastikan keamanan energi jangka panjang dan mengurangi ketergantungan pada harga bahan bakar impor yang tinggi dan fluktuatif—serta menghilangkan karbon di sektor intensif energi lainnya, seperti mobilitas dan industri berat.

#### 5. Penghapusan sepenuhnya bahan bakar fosil:

Skenario Netralitas Karbon dan skenario Pengurangan Emisi 80% menunjukkan bahwa investasi dalam energi terbarukan dan pembangkit listrik fleksibel akan memungkinkan Vietnam menghapus sebagian besar kapasitas batu bara pada tahun 2040, atau sebelum mencapai puncaknya dari umur teknis pembangkit yang ada. Untuk sejumlah kecil sisa kapasitas batu bara yang tersisa di sistem energi pada tahun 2045, Vietnam harus merencanakan untuk menjalankan CCS secara luas.



Gambar 2. Peta jalan menuju netralitas karbon untuk sektor kelistrikan di Vietnam.

## Menyeimbangkan manfaat saat ini dan masa depan

Pemodelan kami menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan skenario BAU, netralitas karbon dapat dicapai pada tahun 2050 melalui investasi pada teknologi yang tepat dengan perpaduan optimal di seluruh sistem energi. Meskipun kapasitas listrik Vietnam perlu 63% lebih tinggi dari saat ini pada tahun 2050 untuk memenuhi permintaan yang meningkat, rata-rata biaya produksi listrik pada waktu tersebut berada di bawah skenario Netralitas Karbon serupa dengan tingkat saat ini. Banyak penghematan biaya dalam sistem netralitas karbon didorong oleh fakta bahwa energi terbarukan lebih murah untuk dijalankan daripada pembangkit listrik berbahan bakar fosil, dengan biaya operasional (opex) yang jauh lebih rendah. Ini berarti Vietnam dapat mencapai sistem tenaga netralitas karbon tanpa tambahan biaya sistem keseluruhan yang signifikan.

Selain itu, dalam beberapa dekade mendatang, pajak atas emisi karbon diperkirakan akan meningkat, yang berarti bahwa listrik yang dihasilkan dari energi terbarukan akan jauh lebih murah pada tahun 2050. IEA memperkirakan bahwa untuk negara-negara berkembang seperti Vietnam, harga karbon per ton CO<sub>2</sub> akan mencapai antara US\$ 15 hingga US\$ 40 pada tahun 2030, US\$ 35 hingga US\$ 110 pada tahun 2040, dan US\$ 55 hingga US\$ 160 pada tahun 2050. Dalam hal perkiraan harga karbon tertinggi, sebesar US\$ 160 per ton, sistem netralitas karbon akan menghemat hampir US\$ 28 miliar setiap tahun pada tahun 2050, atau 20% dari rata-rata biaya listrik (LCOE), dibandingkan dengan BAU<sup>11</sup>. Karena investor tertarik pada kerangka energi yang dirancang dengan baik, biaya modal dapat dikurangi jika Vietnam mampu menunjukkan komitmennya terhadap proyek-proyek energi terbarukan yang dapat diandalkan, yang didukung oleh aset-aset yang fleksibel. Lebih jauh lagi, nilai holistik dari sistem pembangkit listrik rendah karbon atau netralitas karbon yang independen, yang melindungi perekonomian dari kenaikan biaya impor bahan bakar dan melindungi rakyat Vietnam dari dampak kesehatan akibat pembakaran energi batu bara, harus menjadi bagian dari perhitungan jangka panjang negara itu.

Dengan membangun pasar hidrogen hijau yang berkembang, Vietnam juga akan menciptakan peluang untuk dekarbonasi sektor lain seperti transportasi, serta menciptakan rantai pasokan bahan bakar karbon netral untuk Asia dan pasar global. Biaya produksi bahan bakar berkelanjutan akan turun seiring meningkatnya skala energi terbarukan, sehingga pada tahun 2045, mesin penyeimbang akan

<sup>11</sup> International Energy Agency, 2021

berjalan dengan bahan bakar berkelanjutan.

Tidak ada jalan pintas. Dekarbonisasi adalah proses bertahun-tahun dan menuntut perencanaan yang detail, tetapi tujuan Vietnam untuk menjadi ekonomi netralitas karbon dapat dilakukan jika sektor ketenagalistrikan mengambil tindakan yang diperlukan sekarang dan dalam dekade mendatang untuk mewujudkan masa depan netralitas karbon pada tahun 2050.

**“ Energi terbarukan harus menjadi fondasi sistem tenaga masa depan di Asia Tenggara. Pemodelan Wärtsilä menunjukkan bahwa ini tidak hanya mungkin, tetapi juga menguntungkan secara ekonomi bagi negara-negara di Asia. Tapi waktu adalah yang terpenting—kita harus bertindak sekarang untuk mendapatkan manfaat terbesar dari transisi energi bersih.”**

**Dr. Ha Duong Minh**, Ketua Inisiatif Vietnam untuk Transisi Energi (VIETSE)

### **Vietnam dalam fokus: kebijakan sebagai pendorong dekarbonisasi**

Untuk mencapai target netralitas karbon di Vietnam, kerangka aturan khusus perlu dikembangkan dan diterapkan untuk memberi insentif pada aset yang dapat diperbarui dan fleksibel, sambil menciptakan pasar energi yang lebih kompetitif:

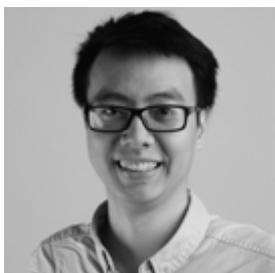
- Harus ada mekanisme tambahan untuk melanjutkan dukungan untuk pengembangan energi terbarukan di Vietnam yang memberikan dukungan investasi untuk proyek-proyek baru dan skema harga yang jelas.
- Aset fleksibel sangat penting untuk sistem tenaga listrik di masa depan yang berjalan dengan peningkatan pangsa energi terbarukan, sehingga sangat penting untuk mengembangkan mekanisme untuk memastikan kelayakan finansial aset tersebut. Mekanisme ini harus mencakup pembayaran kapasitas terpisah untuk fleksibilitas dan pasar layanan tambahan dengan aliran pendapatan yang menarik bagi peserta.
- Selain itu, PPA generasi berikutnya harus dirancang sedemikian rupa sehingga insentif untuk fleksibilitas dimasukkan ke dalam perjanjian untuk mendorong dan menghargai fleksibilitas operasional secara efektif.
- Dalam jangka panjang, pasar grosir yang kompetitif dengan penetapan harga secara real-time dan dengan interval pendek harus dikembangkan, yang lebih mencerminkan realitas pasar energi yang berubah. Akibatnya, alih-alih memiliki kontrak harga tetap, pembangkit listrik harus bersaing dengan menawar di pasar tenaga listrik. Ini akan memberikan insentif untuk berinvestasi dalam kapasitas yang lebih terbarukan dan menyeimbangkan untuk memenuhi permintaan ketika pasokan menurun.



## Temui Tim



**Thanh Pham**  
Manajer Negara Vietnam,  
Wärtsilä Energy



**Tri Nguyen**  
Analisis Keuangan  
dan Pasar Senior,  
Wärtsilä Energy



## FILIPINA BISA MEMULAI INVESTASI PADA SEKTOR LISTRIK BERKELANJUTAN DENGAN MEMBUKA JALUR MENUJU DEKARBONISASI

Arah angin sedang menuju energi terbarukan di Filipina.

Pada Maret 2021, pemerintah menerbitkan Program Energi Terbarukan Nasional (NREP) 2020–2040, yang menyediakan blok bangunan strategis untuk dekarbonisasi ketenagalistrikan dengan meningkatkan produksi dan investasi energi terbarukan. NREP telah menetapkan target 35% energi terbarukan pada tahun 2030 dan 50% pada tahun 2040.

Meskipun NREP merupakan langkah penting ke arah yang benar, Filipina dapat memperoleh manfaat secara ekonomi dan meningkatkan ketahanan energi dengan melangkah lebih jauh untuk sepenuhnya membuka potensi terbarukan. Untuk melakukannya, para pemimpin energi harus mengatasi dua tantangan utama. Pertama, jika NREP menyediakan desain rancang bangun untuk memanfaatkan energi terbarukan yang murah, tantangannya sekarang adalah membangun sistem untuk mendukung hal ini. Rencana Pengembangan Energi (PDP) 2020–2040 yang baru-baru ini dirilis menunjukkan bahwa Luzon, pulau terbesar di Filipina, hanya akan mencapai 26% energi terbarukan pada tahun 2030 dan 34% pada tahun 2040<sup>12</sup>, jauh di belakang target terbarukan yang ditetapkan oleh NREP. Untuk itu, diperlukan lebih banyak kapasitas terbarukan yang ditambah dengan penambahan kapasitas fleksibel untuk mengelola intermittency.

Tantangan kedua yang dihadapi Filipina adalah, meskipun rancang bangunnya sudah ada untuk dua dekade mendatang, tidak ada rencana jangka panjang untuk mencapai netralitas karbon (net zero). Tanpa komitmen netralitas karbon yang jelas,

<sup>12</sup> The Philippines Department of Energy, 2021

negara tersebut mungkin tidak menarik investasi masuk yang dibutuhkannya untuk beralih ke energi terbarukan. Dengan 91% dari PDB global sekarang diwakili oleh target netralitas karbon<sup>13</sup>—termasuk negara-negara ASEAN lainnya seperti Vietnam dan Thailand—Filipina memiliki kesempatan untuk bergabung dengan upaya global untuk mencegah kerusakan iklim dengan menetapkan targetnya sendiri.

Waktu menjadi sangat penting, terlebih karena kerentanan Filipina sendiri terhadap perubahan iklim. Geografi dataran rendah dan rawan angin topan membuat negara ini sangat rentan terhadap perubahan iklim<sup>14</sup>. Dengan mencegah krisis ini dan mencapai netralitas karbon, Filipina dapat menghindari kerugian 6% dari PDB tahunannya pada tahun 2100, serta kerusakan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan, kelangkaan air, dan naiknya permukaan laut<sup>15</sup>. Selain itu, komitmen netralitas karbon di Filipina akan mengirimkan sinyal kepada investor dan mencegah investasi berkelanjutan dalam aset bahan bakar fosil yang tidak fleksibel yang akan berpengaruh dalam ekonomi yang dibatasi karbon.

## Perusahaan energi sudah menetapkan arah untuk netralitas karbon

Pergeseran dinamika politik di Filipina membuat jalur dekarbonisasi masih belum jelas. Namun demikian, telah ada pergerakan menuju netralitas karbon oleh utilitas terbesar negara, termasuk AC Energy and Energy Development Corporation (EDC).

Untuk perusahaan multinasional yang beroperasi di Filipina, tekanan internasional telah tumbuh dari investor untuk mempercepat dekarbonisasi, mendorong komitmen rendah karbon baru oleh sejumlah perusahaan utilitas utama Filipina. Misalnya, grup Ayala (yang memiliki AC Energy) telah berkomitmen untuk mencapai netralitas karbon pada tahun 2050<sup>16</sup>. Demikian pula dengan San Miguel Corporation (SMC) yang telah membatalkan rencana “batu bara bersih” dalam mengejar lebih banyak energi terbarukan dan penyimpanan energi dengan mengumumkan rencana untuk membangun penyimpanan energi berkapasitas lebih dari 1.000 MW<sup>17</sup>. Didorong oleh masalah reputasi dan ekonomi, perusahaan utilitas Filipina—yang memiliki andil besar dalam sistem energi yang diprivatisasi sejak 2001—mulai beralih ke energi bersih.

Pemerintah pusat memiliki kesempatan untuk mendukung perubahan ini dengan menetapkan target netralitas karbon yang jelas dengan menempatkan dirinya pada jalur transisi menuju energi terbarukan. Dengan begitu, pemerintah bisa sejalan dengan perusahaan-perusahaan utilitas terbesar dalam membuka manfaat ekonomi dan lingkungan dari netralitas karbon.

## Dibatasi oleh teknologi lama yang tidak fleksibel

Sampai saat ini, dekarbonisasi telah terhambat oleh ketergantungan yang berkelanjutan pada batu bara, yang diproyeksikan meningkat sebesar 50% dari tingkat pembangkitan saat ini. Moratorium pembangkit listrik tenaga batu bara baru telah diberlakukan, tetapi daftar pembangkit yang telah disetujui masih panjang.

Akibatnya, Filipina berisiko membatasi pembangkit listrik terbarukan karena beban dasar bahan bakar fosil yang tidak fleksibel, yang terdiri dari pembangkit listrik tenaga batu bara dan CCGT. Pembangkit listrik ini dirancang untuk beroperasi dengan beban penuh sepanjang hari. Namun, karena energi terbarukan yang lebih bervariasi ditambahkan, diperlukan penyeimbang pembangkit yang lebih fleksibel. Akibatnya, operator jaringan harus memilih antara menjalankan unit beban dasar bahan bakar fosil pada beban penuh dan membatasi energi terbarukan atau menggunakan energi terbarukan untuk menyediakan pasokan sebanyak mungkin, dilengkapi dengan penyimpanan energi dan mesin penyeimbang.

**Tanpa komitmen netralitas karbon yang jelas, negara tersebut mungkin tidak dapat menarik investasi masuk yang dibutuhkannya untuk beralih ke energi terbarukan.**

<sup>13</sup> Net Zero Tracker, 2022

<sup>14</sup> Amnesty International UK, 2021

<sup>15</sup> National Integrated Climate Change Database Information and Exchange System, 2022

<sup>16</sup> Ayala, 2021

<sup>17</sup> San Miguel Corporation, 2021

## Langkah pertama dan terpenting yang harus diambil Luzon adalah dengan cepat menambah kapasitas energi terbarukannya.

Banyak pemangku kepentingan terus memandang energi beban dasar bahan bakar fosil sebagai kunci sistem energi yang andal, pola pikir yang diwarisi dari tahun-tahun booming-nya era batu bara. Sekarang jelas bahwa ketergantungan pada pembangkit listrik tenaga gas dan batu bara yang tidak fleksibel untuk beban dasar energi membatasi integrasi pembangkit listrik terbarukan berbiaya rendah. Terlebih lagi, energi terbarukan dapat menjadi sumber energi utama dengan dukungan mesin penyeimbang dan penyimpanan energi dalam menyediakan energi yang andal sepanjang hari. Namun, Filipina saat ini tidak memiliki fleksibilitas untuk energi terbarukan dalam melakukan peran ini, yang akhirnya menyebabkan berbagai keterbatasan dan biaya yang berlebihan.

### Luzon – jendela menuju dekarbonisasi di Filipina

Untuk menguji potensi energi terbarukan dalam menyediakan jaringan listrik yang andal, kami melakukan studi pemodelan sistem energi di pulau terbesar di negara ini – Luzon.

Sebagai pusat ekonomi negara, Luzon menampung sekitar setengah dari populasi Filipina. Ini mewakili sekitar 72% dari total pembangkit energi dan berkontribusi pada 72,4% dari permintaan puncak Filipina<sup>18</sup> (11,1 GW dari 15,3 GW pada tahun 2020), dibandingkan dengan 14% di Visayas dan 13% di Mindanao<sup>19</sup>.

Kami telah memodelkan dua skenario berbeda: skenario ‘Business As Usual’ (BAU)–tanpa batas emisi–dan skenario untuk mencapai netralitas karbon pada tahun 2050.

### Skenario pemodelan sistem energi Luzon, Filipina:

- 1. Business As Usual (BAU)** - tidak ada pembatasan emisi dari sektor listrik. Di bawah skenario ini, sistem energi di Pulau Luzon, Filipina akan melepaskan 95 juta ton emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2040, menempatkan netralitas karbon di luar jangkauan.
- 2. Netralitas Karbon** – sistem energi yang beroperasi dengan pengurangan emisi 50% pada tahun 2040 dan dengan netralitas karbon pada tahun 2050.

**Sistem energi di Pulau Luzon dapat berjalan dengan andal menggunakan energi terbarukan sebagai sumber daya utama, menetapkannya di jalur yang jelas menuju netralitas karbon, menurut pemodelan kami.**

### Prioritas jangka pendek: meletakkan dasar untuk netralitas karbon

#### 1. Meningkatkan energi terbarukan dengan cepat:

Pemodelan menunjukkan bahwa langkah pertama dan terpenting yang harus diambil Luzon adalah dengan cepat memperluas kapasitas terbarukannya. Luzon dapat mencapai target 35% terbarukan pada tahun 2030–tahun di mana pemodelan kami menunjukkan emisi akan mencapai puncaknya–dengan memasang total 18 GW kapasitas solar, naik dari 11 GW solar yang direncanakan oleh PDP hingga 2030.

<sup>18</sup> Boquet, 2017

<sup>19</sup> The Philippines Department of Energy, 2019

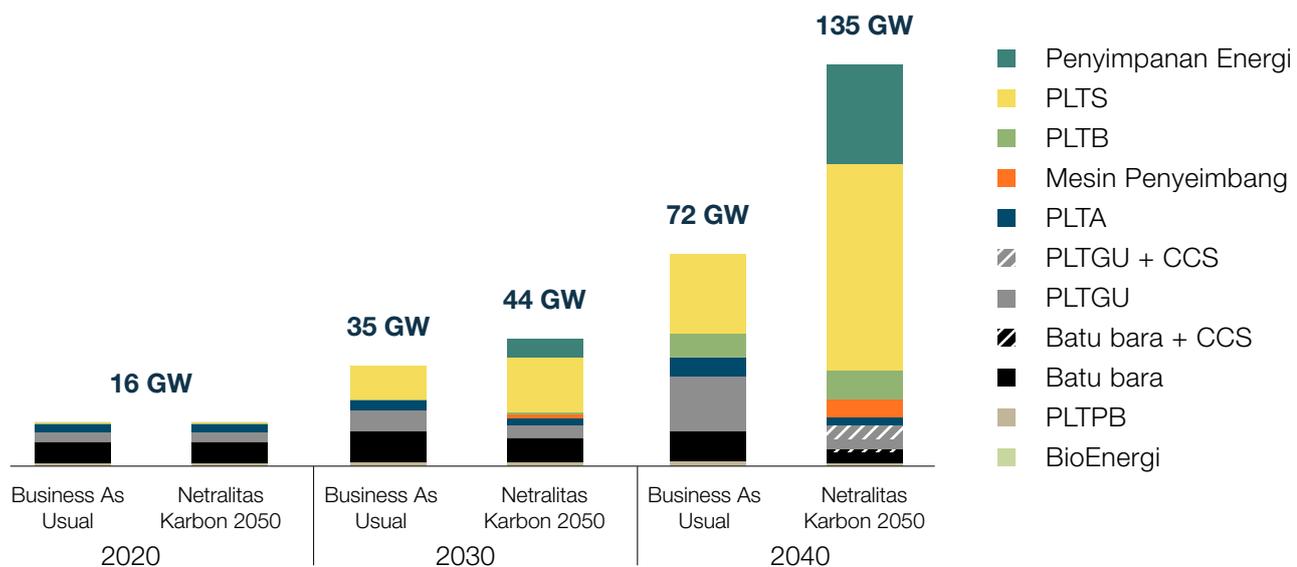
## 2. Hentikan investasi di pembangkit listrik baru yang tidak fleksibel:

Langkah kedua yang harus diambil Luzon adalah menjauh dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang tidak fleksibel, seperti unit batu bara atau CCGT. Di bawah skenario Netralitas Karbon, gas memiliki peran lanjutan dalam sistem yang optimal, tetapi hanya sebagai bahan bakar transisi. Mesin penyeimbang modern memiliki fleksibilitas operasional yang unggul dibandingkan CCGT, dengan waktu start-up kurang dari dua menit, menjadikannya ideal untuk memuat dan menyeimbangkan energi terbarukan.

Sebaliknya, kinerja terbaik CCGT terjadi saat beroperasi pada profil pengoperasian datar dan berbeban tinggi dalam jangka waktu lama tanpa gangguan. Karena lebih banyak energi terbarukan berbiaya rendah ditambahkan ke sistem energi—yang akan diberikan status pengiriman prioritas—CCGT akan sangat terganggu dan faktor kapasitas akan menurun, dengan profil operasional berubah menjadi lebih sering dinyalakan dan dimatikan setiap harinya, ditambah peningkatan berkala (frequent ramping) dan pembangkit yang berjalan terus-menerus pada beban parsial. Karena CCGT memengaruhi merit order, total biaya kepemilikan meningkat sampai profitabilitas terkikis.

## 3. Tambahkan fleksibilitas untuk menyeimbangkan intermiten:

Saat kapasitas terbarukan ditingkatkan, pemodelan menunjukkan bahwa Luzon harus mempercepat adopsi pembangkit penyeimbang berbasis gas yang fleksibel, dengan 1,3 GW dibutuhkan pada tahun 2030. Dengan demikian, Luzon dapat meningkatkan energi terbarukan, seperti matahari dan angin, untuk menjadi sumber energi utama, memungkinkan Filipina untuk mencapai tujuan yang ditetapkan oleh NREP. Untuk mendukung energi terbarukan, penyimpanan energi dapat digunakan untuk mengalihkan kelebihan daya ke waktu lain dalam sehari. Pemodelan menunjukkan bahwa akan optimal untuk menambah 6 GW penyimpanan energi baterai (4 jam) pada tahun 2030. Hal ini mengurangi kebutuhan CCGT dan batu bara, turun 5 GW menjadi 12,7 GW dibandingkan dengan 17,2 GW di bawah skenario BAU.



Gambar 3. Kapasitas terpasang dalam GW. Kapasitas bahan bakar fosil dari batubara dan PLTGU 5 GW lebih rendah pada skenario netralitas karbon pada tahun 2030.

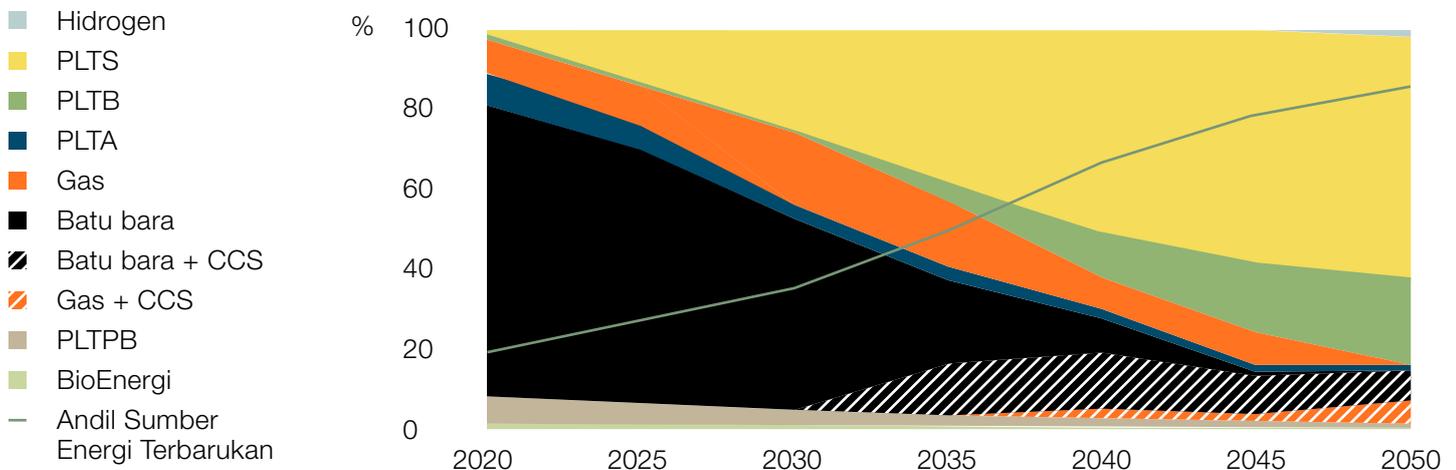
## Prioritas jangka menengah: mengembangkan jaringan listrik berbasis energi terbarukan

Setelah meletakkan dasar untuk netralitas karbon dalam jangka pendek, fokus berikutnya untuk Pulau Luzon dalam skenario Netralitas Karbon adalah mengembangkan jaringan listrik di mana sebagian besar energi berasal dari sumber terbarukan. Pemodelan kami menunjukkan bahwa dengan perpaduan yang tepat antara teknologi penyeimbang dan pembangkit terbarukan, Pulau Luzon dapat menggandakan pembangkit listrik terbarukan dibandingkan dengan skenario BAU, dari 34% menjadi 67% pada tahun 2040. Ini juga akan melebihi target 50% yang ditetapkan untuk keseluruhan sektor listrik Filipina oleh NREP – memungkinkan Luzon untuk segera merintis dekarbonisasi negara tersebut. Ini jika dibandingkan dengan skenario BAU, di mana Luzon hanya akan mencapai 34% pembangkit terbarukan pada tahun 2040, menempatkan netralitas karbon pada tahun 2050 terlampaui jauh targetnya.

Sementara itu karena energi terbarukan ditingkatkan, maka investasi di pembangkit baru yang tidak fleksibel seperti CCGT harus dikurangi. Dimulai dari tahun 2030-an, ketergantungan pada bahan bakar impor, yang sebagian besarnya merupakan batu bara, juga akan berkurang secara signifikan di bawah skenario netralitas karbon. Untuk pembangkit listrik bahan bakar fosil yang tersisa, penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) akan diperkenalkan pada tahun 2040-an untuk memotong emisi akhir dari sistem energi.

## Prioritas jangka panjang – dorongan terakhir ke netralitas karbon

Pada tahun 2050, energi terbarukan mendominasi transisi energi di Pulau Luzon di bawah skenario Netralitas Karbon. Secara total, energi terbarukan menyediakan 87% dari total pembangkitan pada tahun 2050, naik dari 18% pada tahun 2020, mencapai 141 GW dari tenaga surya dan 33 GW dari tenaga angin.



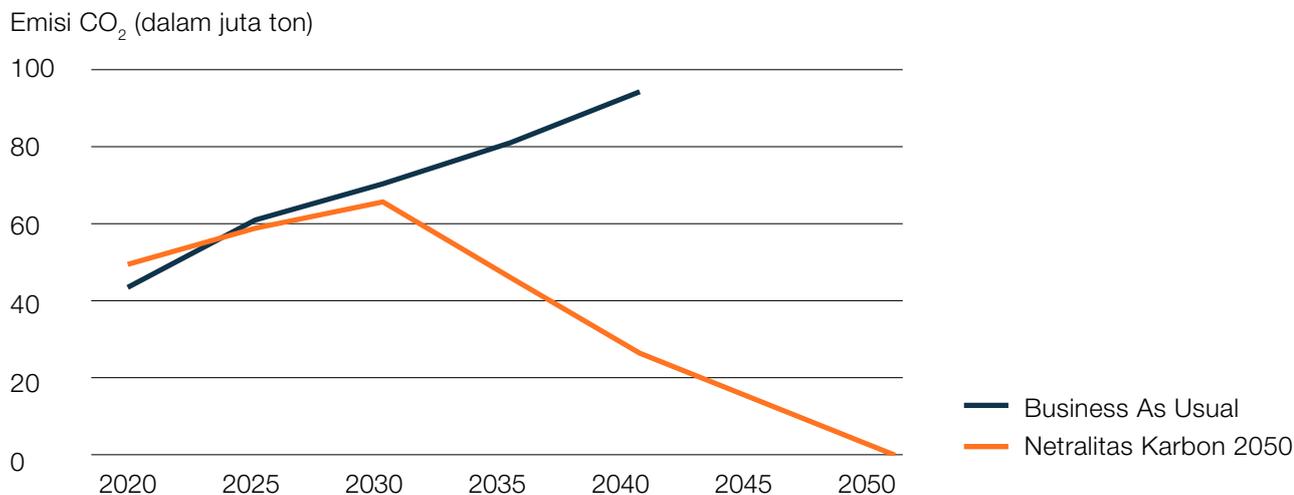
Gambar 4. Bauran pembangkit listrik sampai tahun 2050 pada skenario netralitas karbon. Energi terbarukan akan mendominasi netralitas karbon sistem ketenaga listrik sebesar 87% dari total ketenaga listrik.

Pada tahap akhir dekarbonisasi Luzon, setiap investasi yang tersisa dalam pembangkit termal harus beralih dari beban dasar ke aset fleksibel sebagai integrator energi terbarukan dalam sistem. Pada tahun 2050, 14 GW pembangkit listrik penyeimbang dan 69 GW penyimpanan energi akan dibutuhkan di sektor listrik Luzon untuk mencapai Netralitas Karbon.

## Energi terbarukan dan fleksibilitas membuka energi yang murah, bersih, dan memangkas emisi

Dengan meningkatkan energi terbarukan dan menambahkan teknologi yang fleksibel, serta memperkenalkan CCS untuk pembangkit batu bara dan CCGT yang

baru dipasang, Filipina dapat mencapai pengurangan emisi 50% pada tahun 2040 dibandingkan catatan di tahun 2030. Di bawah skenario Netralitas Karbon, emisi di Luzon mencapai puncaknya pada 66 juta ton CO<sub>2</sub> pada tahun 2030 sebelum turun dengan cepat menjadi 26 juta ton CO<sub>2</sub> pada tahun 2040. Berdasarkan skenario BAU, emisi akan terus meningkat, mencapai 95 juta ton CO<sub>2</sub> pada tahun 2040, 72% lebih tinggi dari skenario Netralitas Karbon.



Gambar 5. Emisi akan mencapai puncaknya pada tahun 2030 dalam skenario netralitas karbon, sebelum turun 50% hingga tahun 2040.

Bagian terpenting, pajak karbon juga diperkirakan akan meningkat di seluruh dunia dalam beberapa dekade mendatang, yang berarti sistem energi berbasis terbarukan kemungkinan akan jauh lebih murah pada tahun 2050. Sebagaimana diuraikan dalam kaitannya dengan Vietnam, IEA memperkirakan bahwa untuk negara berkembang, seperti halnya Filipina, harga karbon akan mencapai antara US\$15–US\$40 pada tahun 2030, US\$35–US\$110 pada tahun 2040 dan US\$55–US\$160 pada tahun 2050<sup>20</sup>.

Meskipun LCOE di bawah skenario Netralitas Karbon sedikit lebih tinggi daripada skenario BAU tanpa pajak karbon, di mana pemodelan menunjukkan bahwa biaya skenario BAU melonjak ketika pajak karbon diterapkan. Yang penting, ketika perkiraan atas IEA untuk pajak karbon diperhitungkan pada tahun 2040, yaitu US\$110 per ton, sistem energi netralitas karbon akan menghemat US\$6,5 miliar per tahun, memotong LCOE sebesar 23% dibandingkan dengan skenario BAU<sup>21</sup>.

### Menyadari manfaat dekarbonisasi

Pemodelan Luzon menyoroti bahwa pulau tersebut dan Filipina secara keseluruhan memiliki kelayakan untuk melangkah secara ekonomi ke sistem energi netralitas karbon yang akan memelopori dekarbonisasi dan menggemparkan ekonomi, juga menguntungkan sektor terkait seperti mobilitas dan industri.

Dengan target netralitas karbon yang jelas, Filipina dapat mulai menarik investasi dari luar yang dibutuhkan untuk mencapai transisi tersebut. Namun, tanpa tujuan netralitas karbon jangka panjang, Filipina berisiko melepaskan diri dari komunitas global yang semakin sadar akan perubahan iklim dan memperburuk dampak krisis terkait bagi negara itu.

Waktu sangat penting, keputusan yang dibuat sekarang akan mempengaruhi sistem energi Filipina untuk tahun-tahun mendatang.

<sup>20</sup> International Energy Agency, 2021

<sup>21</sup> International Energy Agency, 2021

## Fokus Filipina: nilai fleksibilitas

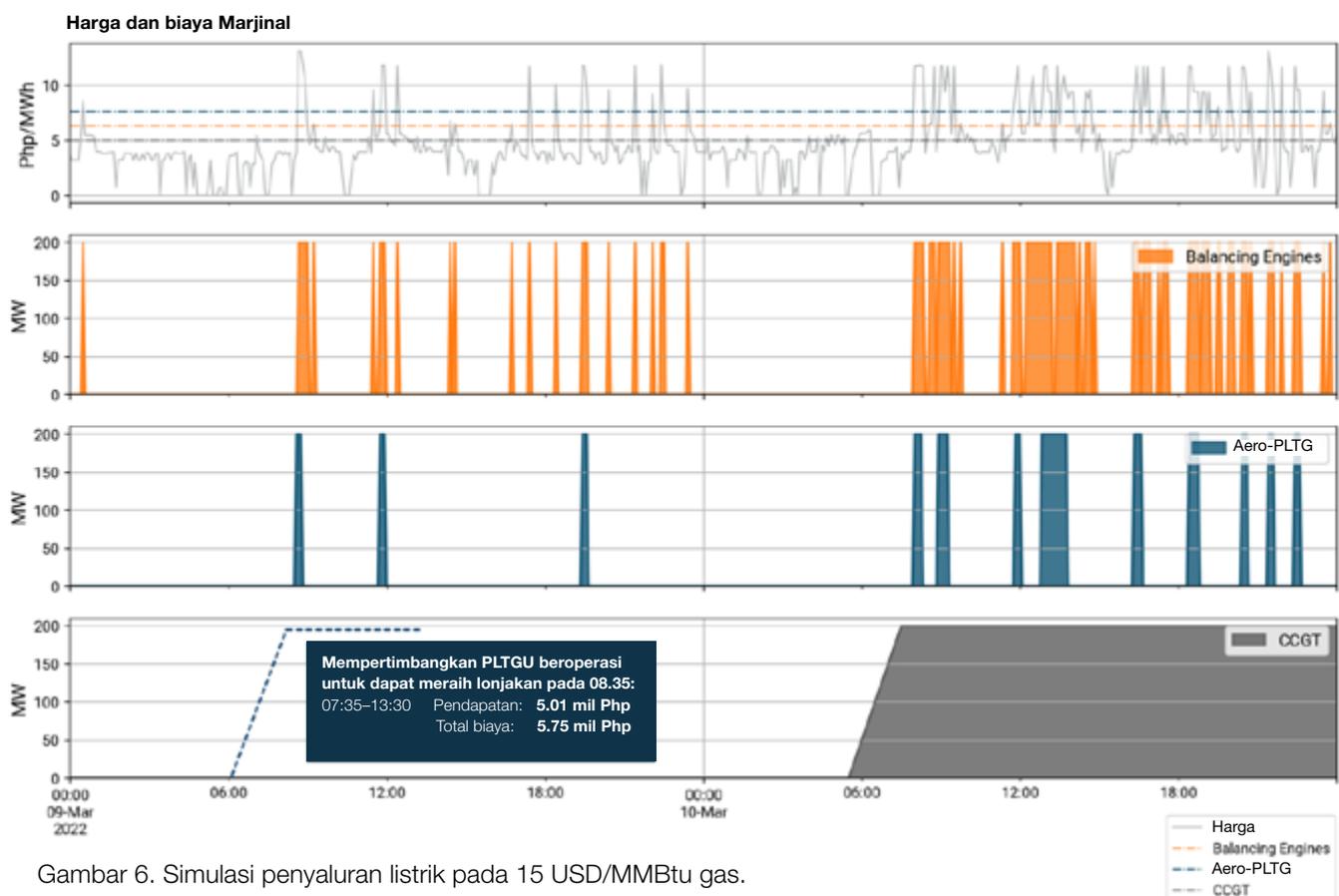
Nilai fleksibilitas di Filipina dapat dilihat dalam dua contoh: 5-minutes pricing Wholesale Electricity Spot Market (WESM), atau 5 menit kemungkinan mengubah cara konsumsi sebagai respons terhadap harga, serta portofolio hibrida:

- 1. 5-minuters pricing WESM:** Karena fleksibilitas pembangkit tenaga gas dapat memulai dan mencapai beban penuh dalam 2–5 menit dan tidak memiliki waktu minimum naik dan turun, mereka dapat dikirim dengan 5-minutes pricing tunggal, yang berarti mereka dapat menangkap harga spot yang optimal. Ini menghasilkan pola pengiriman start-stop yang sering, sempurna untuk menyeimbangkan energi terbarukan di jaringan listrik.

Sebaliknya, pembangkit batu bara dan CCGT membutuhkan harga yang stabil selama 6 hingga 24 jam lebih sebelum memutuskan untuk berkomitmen. Ini tidak hanya membuat perdagangan lebih kompleks dan bergantung pada perkiraan harga potensial, tetapi juga menambah jumlah risiko dalam proyek semacam itu. Pada akhirnya, penetapan 5-minutes pricing mempengaruhi garis bawah aset tidak fleksibel karena mereka tidak dapat menangkap semua harga di atas batas biaya.

- 2. Portofolio batas nilai hibrida (solar + pembangkit listrik fleksibel + WESM):** Portofolio pembangkit tenaga solar plus gas fleksibel dapat memenuhi sebagian besar beban di siang hari untuk perjanjian catu daya (PSA) kualitas menengah. Selama berjam-jam tanpa pembangkit listrik tenaga surya, listrik dapat dibeli dari WESM untuk memenuhi sisa beban. Risiko harga dapat dilindungi nilai dengan aset fleksibel, yang dikirim jika harga WESM lebih tinggi dari biaya marginal pembangkit listrik fleksibel. Hal ini dimungkinkan karena fleksibilitas yang diberikan mesin pembangkit dengan kemampuan respons cepatnya.

Banyak kombinasi aset seperti itu dimungkinkan dalam suatu sistem untuk membuat portofolio listrik menjadi lebih ekonomis. Ini termasuk, namun tidak terbatas pada, memperbesar kapasitas tenaga surya untuk dijual ke WESM, menggunakan pasar layanan tambahan atau berpartisipasi sebagai mitra pembangkit di luar jam PSA untuk menghasilkan pendapatan tambahan.



Gambar 6. Simulasi penyaluran listrik pada 15 USD/MMBtu gas.

**“Beban dasar energi terbarukan harus menjadi fondasi sistem tenaga masa depan di Asia Tenggara. Pembangkit listrik yang fleksibel merupakan bagian dari masa depan ini, jika tidak, fondasi yang dapat diperbarui tidak akan terwujud. Fokus berkelanjutan Wärtsilä pada penyeimbangan pembangkit listrik, menggunakan campuran bahan bakar yang terus berkembang, akan terus menjadi pendorong penting transisi menuju energi bersih.”**

**Anthony Shibley**, Ketua dan CEO, Gigawatt Power, Inc.

**“Filipina sedang memulai transisi energi yang besar dan akan membutuhkan kombinasi rencana dan teknologi untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan. Selama masa transisi, perlu direncanakan dengan baik tentang bagaimana mereka dapat memanfaatkan energi asli seperti matahari, angin, panas bumi dan tenaga air, sementara pada saat yang sama mencari sumber energi gratis seperti gas alam dan pembangkit listrik rendah karbon yang bekerja cepat. Ini adalah tugas besar yang membutuhkan sinergi antara pemerintah, akademisi, sektor swasta, dan penyedia teknologi.”**

**Rolando J. Paulino, Jr.**, Presiden Dewan Kemerdekaan Energi Filipina (PEIC)

## Temui Tim



**David Kayanan**  
Analisis Keuangan & Pasar,  
Wärtsilä Energy



**Stuti Gandotra**  
Manajer Senior untuk  
Pengembangan Pasar,  
Wärtsilä Energy



**Jaana Lager**  
Analisis Sistem Energi,  
Wärtsilä Energy



## MENYELARASKAN VISI NETRALITAS KARBON INDONESIA DENGAN LANGKAH EKSEKUSI YANG JELAS

Menjelang Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP26) pada 2021 lalu di Skotlandia, Indonesia mengumumkan rencana untuk mengurangi emisinya sebesar 29% pada tahun 2030 secara mandiri, (atau sebesar 41% dengan bantuan internasional), sebelum mencapai netralitas karbon pada tahun 2060.

Dekade berikutnya sangat penting untuk mencapai tujuan netralitas karbon ini, dimulai dengan menempatkan sektor energi Indonesia pada jalur yang benar menuju dekarbonisasi.

Grand Strategi Energi Nasional adalah sinyal yang jelas di mana pemerintah Indonesia meyakini terdapat progres. Strategi tersebut mengusulkan bahwa energi terbarukan harus menyediakan 100% daya pada tahun 2060, dengan penambahan kapasitas baru mulai tahun 2030 hanya berasal dari energi terbarukan, sehingga total kapasitas (energi) terbarukan yang terpasang menjadi 587 GW pada tahun 2060<sup>22</sup>. Ini adalah ambisi yang signifikan, mengingat 83% listrik di Indonesia saat ini berasal dari bahan bakar fosil.

<sup>22</sup> S&P Global, 2022

<sup>23</sup> Clean Power Indonesia & Center for International Forestry Research, 2019

Selain itu, hanya kota-kota besar di Indonesia yang memiliki distribusi energi yang cukup saat ini, sedangkan di pedesaan Indonesia sekitar 50 juta orang di 40.000 desa di 4.000 pulau tidak memiliki akses permanen ke listrik yang memadai<sup>23</sup>.

Sementara itu, melalui dekarbonisasi, pemerintah bertujuan untuk mengatasi hambatan kemakmuran yang sudah berlangsung lama ini dengan menyediakan akses listrik universal pada tahun 2024<sup>24</sup>.

(Hal) Ini menghadirkan peluang perubahan zaman. Sementara pemilik ekonomi energi maju seperti Eropa dan Amerika Utara berjuang untuk bertransisi dari warisan sistem energi yang tertanam kuat yang tidak sesuai dengan netralitas karbon, keputusan yang dibuat Indonesia sekarang untuk menyediakan energi yang andal secara nasional dapat memungkinkan Indonesia menuju sistem energi teruji yang terutama didasarkan pada sumber daya dengan biaya terendah – energi terbarukan. Melalui ini, pemerintah dapat bertransisi ke netralitas karbon pada tahun 2060<sup>25</sup>.

## Menyelaraskan visi dengan eksekusi

Visi Indonesia selaras secara ekonomi, karena nilai pengadaan dan pengiriman bahan bakar fosil yang mahal untuk generator termal terkikis oleh sumber daya energi terbarukan yang berbiaya rendah. Namun, batu bara saat ini mendominasi pasokan energi nasional, dengan energi terbarukan hanya 11% dari bauran energi Indonesia. Saat ini sedang dibangun sekitar 15 GW pembangkit batu bara baru, yang dapat beroperasi hingga 40 tahun.

Aset pembangkit listrik beban dasar berbahan bakar fosil yang tidak fleksibel dirancang untuk operasi beban penuh. Namun, karena energi terbarukan yang lebih bervariasi ditambahkan, peningkatan keseimbangan diperlukan untuk mengelola intermittency. Unit pembangkit beban dasar berbahan bakar fosil yang beroperasi dengan beban penuh meningkatkan kemungkinan pengurangan energi terbarukan. Alternatif yang lebih baik adalah menggunakan energi terbarukan untuk memenuhi sebanyak mungkin permintaan, dilengkapi dengan penyimpanan energi dan mesin penyeimbang.

Transisi sudah berlangsung di mana pemerintah mengumumkan serangkaian kebijakan untuk mengekang emisi di sektor energi: mengganti solar dengan LNG; penghentian persetujuan pembangkit listrik tenaga batu bara baru; rencana untuk mewajibkan co-firing biomassa; dan memperkenalkan harga karbon. Namun, tekanan inflasi baru-baru ini menyebabkan perubahan dan penundaan kebijakan. Misalnya, pajak karbon sebesar Rp30.000 (USD2,02) per kg setara CO<sub>2</sub> yang semula akan diterapkan pada pembangkit batu bara pada Juli, telah ditunda untuk kedua kalinya<sup>26</sup>. Agar investasi tidak menjadi aset yang terlantar maka sangat penting bagi Indonesia untuk memiliki perencanaan kebijakan.

## Sulawesi: Mikrokosmos transisi energi Indonesia

Untuk membantu para pemimpin energi Indonesia mengambil tindakan yang diperlukan dalam membentuk transisi, kami melakukan studi pemodelan sistem energi, menyimulasikan sistem energi di Pulau Sulawesi. Terletak di Indonesia bagian tengah, pada 180.000 kilometer persegi (atau 10% dari luas daratan Indonesia), Sulawesi adalah rumah bagi 20 juta orang. Kebutuhan listriknya adalah 13,5 TWh, setara dengan sekitar 7% dari (kebutuhan listrik) Indonesia secara keseluruhan.

Seperti halnya di Indonesia secara keseluruhan, batu bara memainkan peran penting dalam sistem energi Sulawesi, mencapai 41% dari total kapasitas terpasang, dan ada sekitar 500 MW kapasitas batu bara baru sedang dalam pengerjaan untuk pulau tersebut. Dengan adanya kesamaan ini, model jalur di Sulawesi dapat diterapkan di seluruh Indonesia, ditambah daerah lain yang bergantung pada bahan bakar fosil di Asia Tenggara dan sekitarnya.

**Keputusan yang dibuat Indonesia sekarang untuk menyediakan tenaga listrik yang andal secara nasional dapat memungkinkan negara untuk melompat jauh ke sistem tenaga listrik yang handal di masa depan.**

<sup>24</sup> International Energy Agency, 2022

<sup>25</sup> International Energy Agency, 2021

<sup>26</sup> Argus, 2022

Untuk memahami biaya dan dampak lingkungan dari berbagai jalur dekarbonisasi, kami memodelkan empat skenario untuk transisi energi di Indonesia pada tahun 2060, berdasarkan tingkat pengurangan emisi yang berbeda, dari bisnis seperti biasa hingga netralitas karbon. Masing-masing skenario memilih teknologi energi dengan biaya terendah untuk memenuhi permintaan.

### Skenario pemodelan sistem energi untuk Sulawesi, Indonesia:

- 1. Business As Usual (BAU)** – tidak ada pembatasan emisi. Di bawah skenario ini, Sulawesi akan melepaskan 12,5 juta ton emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2060, menempatkan netralitas karbon di luar jangkauan.
- 2. Pengurangan Emisi 50%** – skenario yang menuntut pengurangan emisi hingga 50% pada tahun 2060, dibandingkan dengan skenario BAU.
- 3. Pengurangan Emisi 80%** – skenario yang menuntut pengurangan emisi hingga 80% pada tahun 2060, dibandingkan dengan skenario BAU.
- 4. Netralitas Karbon** – sistem energi yang beroperasi dengan netralitas pada tahun 2060.

**Pemerintah telah menetapkan mandat untuk memproduksi 23% dari total pembangkit listrik dari energi terbarukan pada tahun 2025, dan 51,6% pada tahun 2030, yang membutuhkan kapasitas baru (dari energi) terbarukan sebesar 20,9 GW<sup>27</sup>. Namun, pemodelan Sulawesi menunjukkan bahwa, dengan biaya produksi energi yang dioptimalkan, angka ini dapat menjadi tiga hingga empat kali lebih besar dalam jangka pendek dan memberikan dasar untuk sistem tenaga terbarukan yang tinggi pada tahun 2060.**

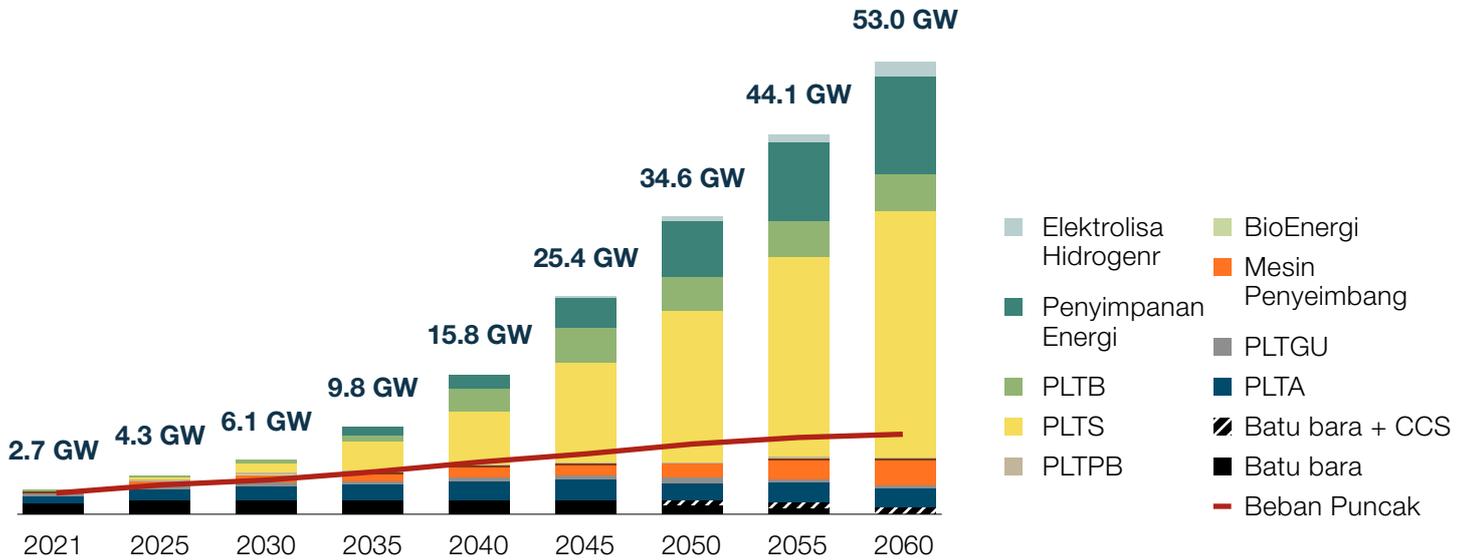
**Langkah-langkah kunci jangka pendek dapat membuka peluang besar untuk sistem tenaga listrik berbiaya rendah dan rendah emisi pada tahun 2060.**

Geografi Indonesia yang unik, yang membentang di 17.500 pulau, menyediakan kondisi ideal untuk jaringan mikro 'kepuluan' yang terdesentralisasi, yang ditenagai oleh energi terbarukan. Pendekatan ini juga sejalan dengan tujuan pemerintah untuk menggeser Indonesia dari pasar listrik yang teregulasi, menuju deregulasi yang lebih besar. Pemisahan pembangkit dari sistem transmisi dan distribusi akan menciptakan daya saing yang lebih besar, membantu utilitas untuk mengoptimalkan portofolio.

### Pengaruh antara tindakan jangka pendek dan peluang jangka panjang

Dekarbonisasi sistem energi di Sulawesi – dan Indonesia secara keseluruhan – menuntut pemahaman yang mendalam tentang interaksi antara tindakan jangka pendek dan jangka panjang: langkah-langkah kunci jangka pendek dapat membuka peluang besar untuk sistem tenaga listrik berbiaya rendah dan rendah emisi pada tahun 2060. Secara keseluruhan, pemodelan sistem kelistrikan mengungkapkan lima langkah utama yang diperlukan secara berurutan untuk meningkatkan energi terbarukan menjadi sumber energi utama pada tahun 2060.

<sup>27</sup> S&P Global, 2022



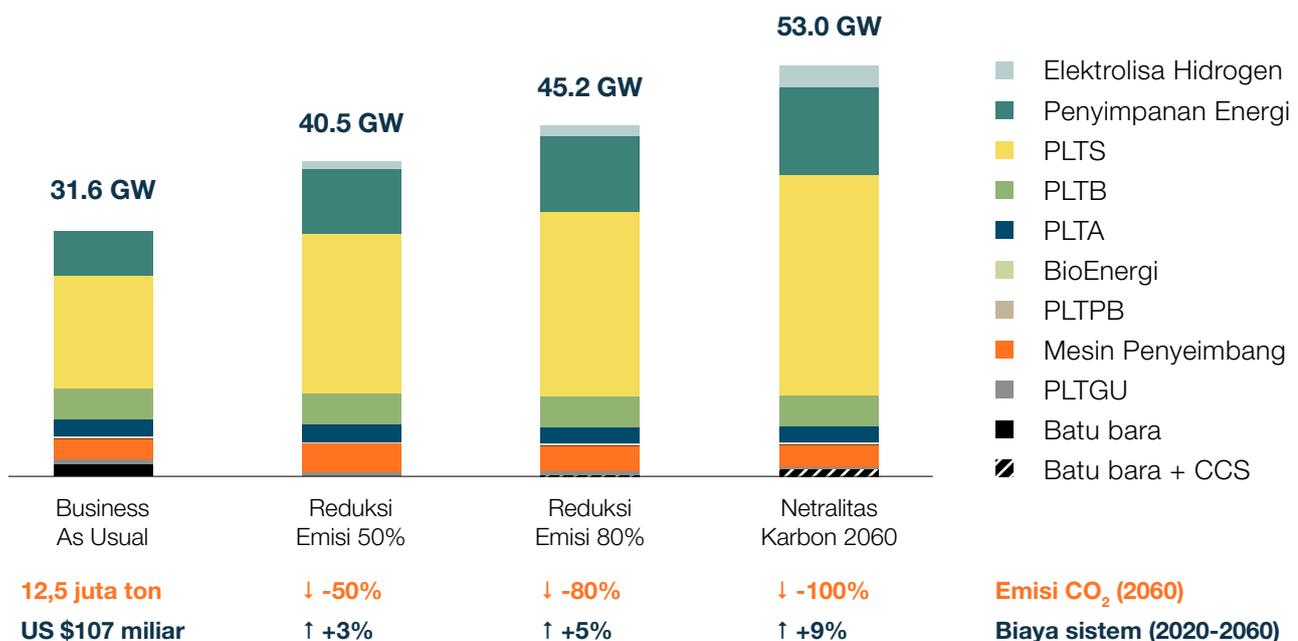
Gambar 7. Kapasitas terpasang dalam GW antara tahun 2021 dan 2060.

## Tahap 1—2: jangka pendek (mulai sekarang hingga 2030):

### 1. Tambahkan kapasitas (energi) terbarukan yang signifikan ke sistem

Skenario dekarbonisasi menyepakati bahwa untuk memenuhi janji Indonesia menghapus batu bara secara bertahap pada tahun 2055, Sulawesi dan pulau-pulau lain harus segera mengakselerasi (pemanfaatan) energi terbarukan untuk menggantikan pembangkit batu bara antara tahun 2050–2055.

Di jaringan listrik Sulawesi, total kapasitas pembangkit listrik tenaga angin dan surya yang direncanakan masing-masing adalah 280 MW dan 300 MW pada tahun 2030. Namun, agar Sulawesi dapat menyelaraskan dengan target netralitas karbon Indonesia sembari menurunkan biaya sistem, target tenaga surya harus ditingkatkan menjadi empat kali lipat: 1.200 MW pada tahun 2030.



Gambar 8. Kapasitas terpasang dalam GW dan dampaknya terhadap emisi CO<sub>2</sub> dan biaya sistem.

## Pembangkitan yang fleksibel adalah kunci untuk mengintegrasikan energi baru terbarukan ke dalam sistem.

### 2. Tambahkan keseimbangan dan kapasitas fleksibel:

Pembangkit yang fleksibel adalah kunci untuk mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam sistem. Untuk mencapai netralitas karbon pada tahun 2060, jaringan listrik Sulawesi harus diimbangi oleh pembangkit 800 MW yang fleksibel pada tahun 2030 dan penyimpanan energi 800 MW pada tahun 2035. Ini 63% lebih tinggi dari 490 MW kapasitas mesin baru yang direncanakan untuk Sulawesi pada Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2030<sup>28</sup>.

Indonesia sudah bergerak untuk membangun kapasitas mesin penyeimbang jaringan yang sangat dibutuhkan; Kapasitas mesin baru sebesar 2 GW saat ini sedang direncanakan untuk dibangun secara nasional pada tahun 2030. Meskipun ini merupakan langkah ke arah yang benar, pemodelan menunjukkan peningkatan kebutuhan untuk menyeimbangkan kapasitas mesin di pulau-pulau besar untuk mempertahankan keandalan melalui transisi. Sulawesi sendiri harus menambah sekitar 3 GW kapasitas mesin penyeimbang pada tahun 2060.

Bagaimanapun, investasi juga dibutuhkan untuk mengembangkan infrastruktur LNG negara dalam mendukung peralihan dari LFO/HFO ke gas. Efisiensi biaya dapat dilakukan dengan mengubah pembangkit listrik bahan bakar cair yang ada menjadi pembangkit listrik gas fleksibel, daripada menghentikan pembangkit listrik LFO/HFO sebelum masa pakai aktualnya atau membangun pembangkit listrik baru.

### Tahap 3—5 - medium ke jangka panjang (2035—2050):

### 3. Menghapus secara bertahap pembangkit yang tidak fleksibel:

Untuk mencapai target netralitas karbon pada tahun 2060, emisi Indonesia harus mencapai puncaknya antara tahun 2030–2035, sebelum terus menurun selama beberapa dekade berikutnya. Model Sulawesi menunjukkan bagaimana kombinasi energi terbarukan, penyimpanan energi, penyeimbang pembangkit listrik yang menggunakan hidrogen, dan terakhir, penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) untuk pembangkit batu bara yang ada, dapat mencapai hal tersebut.

Restrukturisasi sistem energi Indonesia dari model yang tidak fleksibel menjadi model yang fleksibel juga akan membuka peluang baru, terutama dalam hal pasar layanan tambahan. Dengan adanya mekanisme untuk memberikan 'nilai' yang jelas pada fleksibilitas, IPP akan diberi insentif untuk berinvestasi dalam menambahkan aset fleksibel, seperti mesin penyeimbang dan penyimpanan energi, ke jaringan listrik.

### 4. Konversi ke bahan bakar berkelanjutan.

Pemodelan menunjukkan potensi hidrogen hijau (green hydrogen) sebagai bagian akhir dari teka-teki untuk mencapai netralitas karbon di Indonesia, dengan kelebihan daya dari sistem energi terbarukan tinggi yang digunakan untuk menghasilkan bahan bakar berkelanjutan berbasis hidrogen. Pemodelan ini memproyeksikan proporsi bahan bakar berbasis hidrogen akan layak secara ekonomi dan dapat diterapkan untuk membantu tahap akhir dekarbonisasi sektor energi (mulai tahun 2045 dan seterusnya).

Indonesia berencana untuk mulai memproduksi green hydrogen pada tahun 2031, dengan target kapasitas elektroliser 52 GW pada tahun 2060<sup>29</sup>. Dalam skenario netralitas karbon untuk Sulawesi, 2,7 GW hidrogen dapat dihasilkan dan digunakan sebagai bahan bakar mesin penyeimbang jaringan listrik pada tahun 2060, didukung pengembangan tenaga surya 28,53 GW. Tingkat pengembangan solar tersebut hanya membutuhkan 0,5% dari total luas daratan Sulawesi dan termasuk dalam potensi teoritis untuk kapasitas surya yang dikalkulasi oleh IRENA<sup>30</sup>.

<sup>28</sup> PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) (PLN), 2021

<sup>29</sup> Ministry of Energy and Mineral Resources, 2022

<sup>30</sup> International Renewable Energy Agency, 2017

Bahan bakar berkelanjutan yang diproduksi secara lokal ini akan secara optimal memberi daya pada pembangkit listrik penyeimbang fleksibel mulai tahun 2045 dan seterusnya; memungkinkan pulau (Sulawesi) menjadi sepenuhnya netral karbon. Hidrogen juga dapat memainkan peran transformatif dalam menghilangkan karbon di sektor intensif energi lainnya di Indonesia, seperti transportasi.

## **5. Menghapus bahan bakar fosil jika memungkinkan dan meminimalkan serta mengurangi emisi batu bara yang tersisa.**

Model Sulawesi menunjukkan bahwa lebih dari setengah kapasitas batu bara Indonesia layak untuk diganti pada tahun 2050. Namun, mengingat usia banyak pembangkit batu bara, ada argumen tekno ekonomi untuk mempertahankan sebagian dari kapasitas batu bara ini. Terlepas dari tekanan pada sektor energi untuk tetap menjalankannya, ada kemungkinan bahwa beberapa pembangkit batu bara baru akan dihentikan sebelum akhir masa pakainya karena meningkatnya persoalan perubahan iklim dan kesehatan.

Dalam skenario yang dimodelkan, ada ketergantungan parsial yang berkelanjutan pada tenaga batu bara alih-alih penghentian penggunaan batu bara sepenuhnya. Pembangkit batu bara yang tersisa perlu dibakar bersama dengan biomassa dan dilengkapi dengan CCS untuk menetralkan emisinya dan tetap mematuhi netralitas karbon.

### **Pilihan teknologi yang tepat saat ini akan membentuk jalur transisi Indonesia menuju 2060**

Pemodelan mengungkapkan bahwa Sulawesi dapat mencapai netralitas karbon pada sektor ketenagalistrikan dengan beralih ke 94% pangsa energi terbarukan pada tahun 2060. Yang terpenting, IEA memprediksi bahwa negara-negara berkembang, seperti Indonesia, harga karbon per ton CO<sub>2</sub> akan meningkat selama 30 tahun ke depan, dari US\$15–US\$40 pada tahun 2030, US\$35–US\$110 pada tahun 2040 dan US\$55–US\$160 pada tahun 2050<sup>31</sup>. Ketika perkiraan atas IEA sebesar US\$160 per ton diterapkan pada skenario netralitas karbon. Sulawesi akan menghemat US\$1,3 miliar per tahun dibandingkan dengan skenario BAU pada tahun 2060. Ini setara dengan pengurangan 23% pada LCOE<sup>32</sup>.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) harus yakin bahwa energi terbarukan dapat ditingkatkan dengan menggunakan kapasitas fleksibel untuk melayani beban saat ini, sekaligus memenuhi permintaan daya yang meningkat dengan nyaman, dan menghilangkan karbon dengan biaya terendah. Sementara ini menuntut investasi di muka, risiko memperlambat transisi – menciptakan paparan yang lebih besar terhadap volatilitas bahan bakar fosil, pajak karbon, dan darurat iklim yang semakin intensif itu sendiri – jauh lebih besar daripada biaya untuk mempercepatnya.

Dengan beralih ke sistem (energi) terbarukan yang fleksibel pada tahun 2060, Indonesia dapat melakukan lebih dari sekadar mengurangi emisi. Seperti dapat mengubah sektor energi, menciptakan pasar yang kompetitif dan terderegulasi yang lebih mampu melayani ribuan pulau, memastikan bahwa setiap orang memiliki akses ke listrik yang bersih dan andal. Namun, para pemimpin harus merencanakan untuk melakukan perubahan transformasional dalam 5–8 tahun ke depan atau peluang ini akan tertutup.

**Dengan beralih ke sistem energi terbarukan yang fleksibel pada tahun 2060, Indonesia dapat melakukan lebih dari sekadar mengurangi emisi.**

<sup>31</sup> International Energy Agency, 2021

<sup>32</sup> International Energy Agency, 2021

**Memiliki kebijakan, peraturan, dan persyaratan tender yang tepat sangat penting untuk mendukung pengembangan instalasi ini.**

## **Fokus Indonesia: pembangkit listrik hibrida untuk sistem berbasis energi terbarukan**

Seiring dengan upaya Indonesia untuk memenuhi kebutuhan energi penduduknya yang terus meningkat, negara ini dapat mempertimbangkan kombinasi pembangkit listrik energi terbarukan dan penyeimbang untuk memungkinkan peningkatan energi hijau sambil tetap menyediakan kapasitas energi yang menawarkan keamanan pasokan. Menggabungkan energi terbarukan dan mesin penyeimbang dapat memberikan banyak manfaat, seperti daya yang dapat dikirim dan andal, lebih sedikit paparan terhadap perubahan harga bahan bakar, dan LCOE yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik pemikul beban dasar.

Keuntungan ekonomi berasal dari perpindahan bahan bakar mahal dengan pembangkit dari energi terbarukan yang memiliki biaya instalasi yang menurun. Saat ini terdapat 1 GW proyek energi terbarukan yang direncanakan dalam RUPTL dari tahun 2026 hingga 2030 di Indonesia. Menerapkan pembangkit listrik hibrida semacam itu membutuhkan pengembang, pemasok, dan kontraktor untuk mengintegrasikan teknologi yang berbeda, dan memodelkan serta mengoptimalkan operasi pembangkit hibrida dengan benar.

Memiliki kebijakan, peraturan, dan persyaratan tender yang tepat untuk mendukung pengembangan instalasi ini sangat penting. Pembangkit listrik hibrida dapat diperoleh melalui IPP swasta atau struktur kepemilikan publik (rekayasa, pengadaan dan konstruksi). Dalam kasus IPP, PPA yang terstruktur dengan baik diperlukan untuk memperhitungkan integrasi aset, keseimbangan energi terbarukan, konsumsi bahan bakar, dan mekanisme tarif.

### **Temui Tim**



**Febron Siregar**  
Direktur Sales Indonesia,  
Wärtsilä Energy



**Taimi Vesterinen**  
Analisis Sistem Energi,  
Wärtsilä Energy

# KESIMPULAN

Pemodelan Wärtsilä menunjukkan bahwa nilai ekonomi pada energi terbarukan membuat transisi ke sistem listrik netralitas karbon terjangkau, mudah diakses, dan menarik di seluruh Asia Tenggara.

Transisi ke netralitas karbon juga dapat menghasilkan manfaat kesehatan yang signifikan dan mendukung upaya global untuk mencegah perubahan iklim. Pertanyaan kunci bagi para pemimpin energi adalah seberapa efektif mereka dapat mengarahkan transisi untuk memaksimalkan peluang, seperti penciptaan lapangan kerja, pembangunan ekonomi, dan elektrifikasi di seluruh negeri. Konsultan manajemen global McKinsey, misalnya, memperkirakan bahwa untuk setiap US\$10 juta pengeluaran pemerintah untuk teknologi terbarukan, 75 unit pekerjaan dapat diciptakan, dibandingkan dengan 27 unit pekerjaan di sektor bahan bakar fosil<sup>33</sup>. Laporan ini memberikan cetak biru untuk membuka potensi terkait.

## Energi terbarukan dapat membuka listrik yang lebih murah

Maju dari pembangkit beban dasar berbahan bakar fosil ke sistem berbasis energi terbarukan tidak memerlukan peningkatan yang signifikan dalam biaya sistem secara keseluruhan, sehingga dapat mendukung penghematan biaya yang signifikan ketika memperhitungkan harga karbon di masa depan. Sistem berbasis energi terbarukan membutuhkan investasi belanja modal (capex) tambahan tetapi memiliki biaya produksi megawatt per jam yang lebih rendah. Selain mengurangi emisi, transisi dari model opex, di mana bahan bakar selalu dibutuhkan, ke model belanja capex, di mana energi hijau 'tak terbatas' dibeli di muka, juga disertai dengan manfaat pengurangan ketergantungan pada bahan bakar impor. Yang terpenting, ketika pajak karbon, seperti yang diperkirakan oleh IEA, diperhitungkan, biaya listrik yang diratakan dari sistem tenaga netralitas karbon dapat mencapai 23% lebih rendah daripada sistem yang terus mengandalkan bahan bakar fosil yang tidak fleksibel untuk daya beban dasar.

## Berhasil melampaui pekerjaan sulit yang tak terlihat

Para pemimpin menghadapi tingkat kerumitan yang baru dan belum pernah terjadi sebelumnya dalam melakukan transisi sistem energi mereka ke energi terbarukan untuk masa depan yang hijau, yang dilakukan di tengah variabilitas dan meningkatnya ketidakpastian. Pergeseran dari beban dasar bahan bakar fosil ke jaringan terbarukan saat ini ternyata mirip dengan anekdot dalam Bahasa Inggris, 'graduating from a game of checkers to chess', yang berarti berhasil melampaui pekerjaan sulit yang tak terlihat. Fleksibilitas diperlukan untuk mengelola ketidakpastian, menyeimbangkan keluaran terbarukan yang terputus-putus untuk memastikan stabilitas jaringan listrik secara keseluruhan. Perencanaan bertahun-tahun yang mendalam dan berbasis data diperlukan untuk memaksimalkan peluang baru dan kompleks, dari percepatan pertumbuhan energi terbarukan hingga hidrogen, dan untuk mencegah investasi dalam aset muatan dasar bahan bakar fosil baru, yang akan terhenti lebih cepat dari yang diperkirakan. Yang terpenting, teknologi yang dibutuhkan tersedia saat ini dan jalurnya layak secara teknis dan komersial.



**Pieter Hokkeling**  
Direktur, Pertumbuhan & Perkembangan,  
Timur Tengah & Asia  
Wärtsilä Energy

<sup>33</sup> McKinsey & Company, 2020

**Kita dapat menghindari mengunci diri kita sendiri ke dalam teknologi warisan yang tidak fleksibel dan sebaliknya membangun fondasi yang optimal untuk sistem netralitas karbon di masa depan.**

## Tidak ada waktu seperti sekarang untuk Vietnam, Filipina dan Indonesia

Vietnam, Filipina, dan Indonesia memiliki titik awal dan jalur dekarbonisasi yang berbeda. Namun demikian, ada kesamaan dalam langkah-langkah yang harus diambil untuk mencapai netralitas karbon: menambahkan energi terbarukan sebagai sumber energi utama, menghentikan investasi lebih lanjut di pembangkit yang tidak fleksibel, berinvestasi dalam menyeimbangkan mesin dan penyimpanan energi, dan menggunakan bahan bakar berkelanjutan yang dihasilkan dari energi terbarukan sebagai langkah terakhir menuju dekarbonisasi. Kesamaan lain yang jelas adalah kebutuhan untuk bertindak sekarang.

PDP Vietnam saat ini tidak akan menyediakan energi terbarukan yang cukup pada tahun 2050, menempatkan ambisi netralitas karbon mereka dalam bahaya. Vietnam membutuhkan penyebaran cepat energi terbarukan bersamaan dengan peralihan dari batu bara ke pembangkit listrik yang fleksibel untuk memulai transisi menuju ekonomi netralitas karbon. Harus ada mekanisme untuk mendukung pengembangan energi terbarukan dan mendorong fleksibilitas.

Filipina masih memiliki jalan panjang untuk dekarbonisasi. Sektor listrik perlu mengambil tindakan yang diperlukan hari ini untuk bergabung dalam perlombaan menuju netralitas karbon. Pembangkit listrik fleksibel dapat menyeimbangkan energi terbarukan, memungkinkan peningkatan kapasitas terbarukan, dan menangkap nilai dari 5–minutes pricing di pasar listrik.

Indonesia harus menyelaraskan ambisi netralitas karbonnya dengan meningkatnya permintaan energi. Ini berarti memastikan bahwa tidak ada proyek batu bara baru yang memasuki sistem energi dan memperkenalkan rencana ambisius untuk mempercepat adopsi tenaga angin dan matahari dengan cepat. Pembangkit listrik hibrida yang menggabungkan energi terbarukan dan mesin penyeimbang dapat menyediakan pembangkitan beban dasar hijau dengan LCOE yang lebih rendah.

Pemodelan ini memberikan pelajaran bagi negara-negara lain di Asia Tenggara dan juga seluruh dunia. Jika kita bertindak sekarang, kita dapat menghindari pusaran ke dalam teknologi warisan yang tidak fleksibel, dan sebaliknya membangun fondasi optimal untuk sistem netralitas karbon di masa depan – mencapai transisi energi yang hemat biaya dan cepat yang menghasilkan emisi semakin rendah, daya yang terjangkau, dan pasokan yang aman.

### Menarik investasi luar untuk transisi energi

Transformasi netralitas karbon di Asia Tenggara menuntut dukungan komunitas global untuk memastikan penyebaran teknologi dan infrastruktur utama. Hal ini diungkapkan secara eksplisit oleh Perdana Menteri Vietnam pada KTT iklim COP26, yang menyoroti bahwa pengurangan emisi bergantung pada "...kerjasama dan dukungan masyarakat internasional, terutama dari negara-negara maju, dalam hal keuangan dan teknologi"<sup>34</sup>.

Peningkatan kapasitas dan akses ke keuangan sangat penting untuk mengubah janji netralitas karbon Asia Tenggara menjadi komitmen dan rencana nyata, dan sebaliknya - negara-negara dengan rencana netralitas karbon yang jelas lebih menarik bagi investasi luar untuk mewujudkan komitmen tersebut. Dengan banyaknya bank besar yang tidak lagi berinvestasi dalam proyek batu bara, tidak pernah ada waktu yang lebih baik untuk berinvestasi pada pembangkit listrik terbarukan dan fleksibel seperti mesin penyeimbang dan penyimpanan energi, yang akan memastikan stabilitas pasokan.

<sup>34</sup> Nhân Dân, 2021

## Tanggapan terpadu terhadap perubahan iklim

Pada November 2022, para kepala negara akan berkumpul di Bali, Indonesia, untuk menghadiri KTT G20 guna membahas misi global “Recover Together, Recover Stronger” dari dampak COVID-19 baru-baru ini, sambil juga membahas ancaman eksistensial perubahan iklim. Transisi energi berkelanjutan adalah pilar utama agenda G20 karena sistem tenaga yang bersih, andal, dan terjangkau merupakan sarana penting untuk keamanan, pertumbuhan, dan kesejahteraan.

Di luar keharusan ekonomi untuk melakukan dekarbonisasi sistem energi, pelajaran utama dari pandemi ini adalah pemerintah berperan utama melindungi warganya dari ancaman besar – dan tidak ada ancaman yang lebih besar bagi peradaban manusia selain tantangan iklim. Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim telah memaparkan konsekuensi dari tidak menangani perubahan iklim secara serius dari sebelumnya, menyoroti Asia Tenggara sebagai salah satu kawasan paling rentan di planet ini terhadap perubahan iklim<sup>35</sup>.

## Memperkuat momentum untuk COP27

Pada bulan November 2021, pemerintah yang menghadiri KTT iklim PBB di Glasgow setuju bahwa janji mereka yang ada tidak cukup dan perlu diperkuat pada tahun 2022<sup>36</sup>. Saat kami mendekati COP 27 pada bulan November. Ini adalah periode kritis bagi pemerintah dan bisnis untuk berkolaborasi memperkuat target mereka, dan menguji strategi implementasi untuk mengubah target menjadi tindakan.

Kami berharap laporan ini membantu negara-negara untuk sepenuhnya menghargai potensi sektor listrik mereka untuk merintis dekarbonisasi. Dengan memperkuat dan memenuhi komitmen netralitas karbon mereka, Vietnam, Filipina, Indonesia – dan negara-negara Asia Tenggara lainnya – dapat memangkas emisi karbon dan mengurangi ketergantungan pada energi impor, sekaligus mempercepat pertumbuhan dan investasi menuju masa depan yang lebih bersih dan cerah.

---

<sup>35</sup> Hijioka, et al., 2014

<sup>36</sup> United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022

# METODOLOGI

## Pemodelan dalam laporan ini didasarkan pada optimalisasi tekno-ekonomi dari sistem tenaga listrik di Indonesia, Filipina dan Vietnam.

Optimalisasi menemukan campuran kapasitas berbiaya paling rendah untuk memenuhi permintaan listrik di masa depan dengan tetap memperhatikan berbagai skenario emisi. Kami telah menggunakan PLEXOS, perangkat lunak simulasi pasar daya terkemuka, untuk hasil pemodelan sistem daya yang disajikan dalam laporan ini.

Skenario membandingkan pengurangan emisi yang berbeda. Skenario 'Business As Usual (BAU) menghilangkan pengurangan baru apa pun - memodelkan rencana saat ini di tiga pasar. Tanggal target/tenggat waktu di mana batas emisi terpenuhi dalam skenario didasarkan pada komitmen netralitas karbon tingkat negara, ditambah tekanan politik untuk dekarbonisasi antara tahun 2050-2060.

Misalnya, dalam pemodelan Vietnam, batas waktu pengurangan emisi adalah tahun 2050, sejalan dengan target netralitas karbon nasional. Di Indonesia, batas waktu pengurangan emisi yang dimodelkan adalah 2060, sejalan dengan target netralitas karbon nasional. Di Filipina, di mana saat ini tidak ada target netralitas karbon, tenggat waktu pengurangan emisi yang dimodelkan adalah 50% pada tahun 2040 dan netralitas karbon pada tahun 2050, sejalan dengan beberapa negara ASEAN lainnya seperti Thailand dan Malaysia.

Parameter dari berbagai skenario yang dimodelkan diuraikan di bawah ini. Di Vietnam dan Indonesia, keempat skenario dimodelkan. Di Filipina, hanya skenario BAU, berdasarkan Rencana Pengembangan Tenaga Listrik 2020–2040, dan Netralitas Karbon yang dimodelkan.

Pembangkit listrik konvensional disertakan dengan sifat teknis dan bahan bakarnya untuk memodelkan emisinya. Parameter fleksibel pembangkit listrik juga termasuk dalam model. Tenaga angin dan surya PV juga dimodelkan dengan profil pembangkitan per jamnya berdasarkan kondisi cuaca di daerah yang diteliti.

Pemodelan optimasi rinci menggunakan pendekatan kronologis, yaitu, variabilitas dan musiman pembangkit dan beban terbarukan harus seimbang jam demi jam dalam model. Dengan demikian, pemodelan secara akurat mengukur fleksibilitas dan kapasitas penyimpanan yang diperlukan dalam sistem energi yang dipelajari. Untuk memenuhi permintaan masa depan dan target politik, pengoptimalan menambahkan teknologi yang berbeda ke sistem dan memilih kombinasi biaya yang paling optimal. Pilihan yang tersedia termasuk pembangkitan beban dasar termal, seperti batu bara, turbin gas siklus gabungan, dan nuklir; penangkapan dan penyimpanan karbon; sumber terbarukan yang berbeda, seperti angin, surya PV dan panas bumi; mesin penyeimbang jaringan; teknologi penyimpanan, seperti penyimpanan energi dan penyimpanan pompa, dan teknologi untuk menghasilkan bahan bakar berkelanjutan, seperti hidrogen yang dihasilkan melalui elektrolisis.

Wärtsilä telah memodelkan lebih dari 190 sistem tenaga di seluruh dunia dan secara teratur memberi saran kepada pelanggan dan pembuat kebijakan tentang sistem tenaga tahan masa depan yang optimal.

**Business As Usual (BAU)** - tidak ada pembatasan emisi.

**Reduksi Emisi 50%** – skenario berjalan dengan emisi 50% lebih sedikit pada tahun 2050/2060, dibandingkan skenario BAU.

**Reduksi Emisi 80%** – skenario berjalan dengan emisi 80% lebih sedikit pada tahun 2050/2060, dibandingkan skenario BAU.

**Netralitas Karbon** – sistem tenaga yang beroperasi dengan emisi nol bersih pada tahun 2050/2060.

# DAFTAR REFERENSI

1 IEA: Southeast Asia Energy Outlook 2022 (2022). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/e5d9b7ff-559b-4dc3-8faa-42381f80ce2e/SoutheastAsiaEnergyOutlook2022.pdf>

2 <https://www.zerotracker.net/analysis/net-zero-stocktake-2022/>

3 IEA: Southeast Asia Energy Outlook 2022 (2022).

4 Global Coal to Clean Power Transition Statement (2021). <https://ukcop26.org/global-coal-to-clean-power-transition-statement/>

5 <https://chinadialogue.net/en/climate/vietnam-targets-net-zero-but-struggles-to-break-coal-dependence>

6 <https://ihsmarkit.com/research-analysis/southeast-asias-new-energy-policy-announcements-in-pursuing.html>

7 <https://ihsmarkit.com/research-analysis/southeast-asia-on-track-for-strong-but-uneven-power-demand.html>

8 Based on data from 19 August 2022 - <https://tradingeconomics.com/commodity/coal>

9 EREA & DEA: Viet Nam Energy Outlook Report 2021 (2022). [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/vietnam\\_energy\\_outlook\\_report\\_2021\\_english.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/vietnam_energy_outlook_report_2021_english.pdf)

10 <https://ieefa.org/100-and-counting>

11 LCOE reflecting upper IEA carbon price forecast (IEA: World Energy Outlook (2021). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>

Carbon tax (\$/ton)	Philippines (2040) = 110		
	BAU	Net zero	Difference
Annual costs (billion \$)	28.05	21.55	6.50
LCOE (\$/MWh)	122	94	-23%

12 Philippines Department of Energy: Power Development Plan 2020–2040 (2020). <https://www.doe.gov.ph/power-development-plan?withshield=1>

13 <https://zerotracker.net/>

14 <https://www.amnesty.org.uk/philippines-country-most-risk-climate-crisis>

15 <https://nicddies.climate.gov.ph/climate-change-impacts>

16 <https://ayala.com/press-room/press-releases/ayala-commits-to-achieve-net-zero-by-2050>

17 <https://www.sanmiguel.com.ph/news/smc-ramps-up-investments-in-renewable-energy-technologies-drops-clean-coal-power-projects>

18 Boquet, Y. The Philippine Archipelago (2017).

19 Philippines Department of Energy. Power Situation Report (2019). [https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/electric\\_power/2019-power-situation-report.pdf](https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/electric_power/2019-power-situation-report.pdf)

20 IEA: World Energy Outlook, (2021). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>

21 LCOE based the IEA forecast for a carbon price of \$110 USD per MWh by 2040:

Carbon tax (\$/ton)	Vietnam (2050) = 160		
	BAU	Net zero	Difference
Annual costs (billion \$)	138.80	110.82	27.98
LCOE (\$/MWh)	112	90	-20%

22 <https://ihsmarkit.com/research-analysis/southeast-asias-new-energy-policy-announcements-in-pursuing.html>

23 Clean Power Indonesia and Center for International Forestry Research (CIFOR): Powering the Indonesian Archipelago (2019). [https://events.globallandscapesforum.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/11/White-paper-4-Powering-the-Indonesian-Archipelago\\_web.pdf](https://events.globallandscapesforum.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/11/White-paper-4-Powering-the-Indonesian-Archipelago_web.pdf)

24 <https://www.iea.org/articles/scaling-up-renewables-in-the-java-bali-power-system-a-case-study>

25 <https://www.iea.org/news/the-landmark-iea-indonesia-energy-transition-alliance-will-build-a-path-to-a-sustainable-energy-future>

26 <https://www.argusmedia.com/en/news/2345415-indonesia-delays-carbon-tax-scheme-again-on-global-risk>

27 <https://cleanenergynews.ihsmarkit.com/research-analysis/indonesia-prepares-grand-renewables-strategy-doubts-remain-ove.html>

28 PT PLN (Persero): Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (2021). [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf)

29 <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/indonesia-to-introduce-grand-energy-strategy-during-g20-2022>

30 IRENA: Renewable Energy Prospects: Indonesia (2017). <https://www.irena.org/publications/2017/Mar/Renewable-Energy-Prospects-Indonesia>

31 IEA: World Energy Outlook (2021). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>

32 The impact of the IEA forecast for a carbon price of \$160 USD per MWh by 2060:

Carbon tax (\$/ton)	Indonesia (2060) = 160		
	BAU	Net zero	Difference
Annual costs (billion \$)	5.51	4.23	1.29
LCOE (\$/MWh)	95	73	-23%

33 McKinsey: How a post-pandemic stimulus can both create jobs and help the climate (2020). <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/How%20a%20post-pandemic%20stimulus%20can%20both%20create%20jobs%20and%20help%20the%20climate/How-a-post-pandemic-stimulus-can-both-create-jobs-and-help-the-climate.pdf>

34 <https://en.nhandan.vn/politics/item/10707802-pm-pham-minh-chinh%E2%80%99s-remarks-at-cop26.html>

35 Hijioka, Y., et al: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-Chap24\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-Chap24_FINAL.pdf)

36 Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on its second session, held in Glasgow from 31 October to 12 November 2021. Addendum. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021\\_10\\_add1\\_adv.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_10_add1_adv.pdf)

# MENINJAU ULANG ENERGI DI ASIA TENGGARA

MEMBENTUK MASA DEPAN KITA DENGAN PETA JALAN  
YANG JELAS MENUJU NETRALITAS KARBON

Dalam laporan ini, kami menawarkan peta jalan yang menginspirasi namun praktis untuk mencapai netralitas karbon di Asia Tenggara. Sekaranglah saatnya untuk menyadari bahwa sistem tenaga listrik karbon netral yang andal dan terjangkau, berada dalam jangkauan. Saatnya kita **#BentukMasa** Depan Kita.

**Pemimpin redaksi dan kontak:**

**Emma Tallgren,**  
Manajer Pemasaran & Komunikasi,  
Timur Tengah & Asia

