



Coal Asset Transition Tool

Dokumentasi Model

Terakhir Diperbarui 13 Oktober 2022



Tentang TransitionZero

Kami adalah penyedia analisis iklim nirlaba yang didirikan pada tahun 2020, dengan misi untuk mengakselerasi tindakan iklim dengan menggunakan data guna mendukung keputusan perencanaan di bidang kelistrikan dan industri berat. Data kami digunakan oleh pengembang, pemodal, perencana, dan lembaga *think tank*. Kami sepenuhnya didanai oleh Quadrature Climate Foundation, European Climate Foundation, Generation Investment Management, Google.org, dan Bloomberg Philanthropies.

www.transitionzero.org | info@transitionzero.org |   @TransitionZero

Daftar Isi

| | |
|--|----|
| Daftar Isi | 3 |
| Pendahuluan | 4 |
| Metodologi | 6 |
| SDG 3: Kehidupan sehat dan kesejahteraan | 6 |
| SDG 6: Air bersih dan sanitasi layak | 9 |
| SDG 7: Energi bersih dan terjangkau | 11 |
| SDG 8: Pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi | 17 |
| SDG 13: Penanganan perubahan iklim | 19 |
| Beberapa kriteria unik | 20 |
| Batasan | 21 |
| Iterasi mendatang | 22 |
| Kesimpulan | 25 |
| Referensi | 26 |
| Lampiran 1. Penyesuaian model khas Indonesia | 27 |

Pendahuluan

Ada dorongan yang semakin kuat untuk mengurangi pembangkit listrik tenaga batu bara dalam rangka membatasi perubahan iklim hingga 1,5 °C. Sebagai contoh, Pakta Iklim Glasgow merujuk pada upaya percepatan menuju pengurangan bertahap pembangkit listrik tenaga batu bara tanpa henti (yaitu, tidak dilengkapi dengan karbon, penangkapan, penggunaan, dan penyimpanan - CCUS).¹ Berdasarkan analisis TransitionZero, menyelaraskan pembangkitan batu bara global dengan sasaran 1,5 °C akan membutuhkan penutupan atau perubahan penggunaan hampir 3.000 unit batu bara antara sekarang dan 2030.² Urgensi ini telah menghasilkan sejumlah inisiatif untuk membiayai pensiun dan penggantian pembangkit batu bara.³

Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan ketika mengevaluasi pembangkit batu bara untuk pensiun dini, seperti nilai keuangan, emisi karbon dan biaya terkait, serta dampak lingkungan. Namun, variabel-variabel ini sulit diperoleh di tingkat unit dan pembangkit, dan jika tersedia, variabel-variabel tersebut sering disimpan dalam basis data yang terpisah-pisah dan disajikan dalam format yang berbeda, sehingga hampir tidak mungkin untuk digabungkan. Hal ini mempersulit pemangku kepentingan untuk memeriksa satu atau beberapa kriteria ini tergantung pada keadaan unikunya. Dengan kondisi ini, TransitionZero mengembangkan alat Coal Asset Transition (CAT) untuk memungkinkan pemeriksaan tingkat tinggi pembangkit batu bara. CAT memberi pengguna titik data utama yang diperlukan untuk mengidentifikasi dan memberi peringkat pembangkit batu bara untuk penggantian dengan membandingkan dan membedakan satu atau beberapa kriteria. Kriteria ini mencakup metrik yang mewakili Sustainable Development Goal (SDG) sebagai berikut: SDG 3, SDG 6, SDG 7, SDG 8, dan SDG 13.

Banyak kelompok industri, organisasi lingkungan, dan lembaga pemerintah yang telah menerbitkan perkiraan biaya operasi, dampak udara, air dan karbon dari pembangkit listrik tenaga batu bara.⁴ Namun, metrik ini sering disajikan dalam basis data yang berbeda dan dengan unit yang berbeda, sehingga sulit untuk mengevaluasi eksternalitas negatif ini di samping biaya operasi untuk mendapatkan pandangan holistik tentang biaya sebenarnya dari pengoperasian pembangkit. CAT mendapat manfaat dari kemampuan TransitionZero untuk memperkirakan produksi dan emisi pembangkit listrik tenaga batu bara di wilayah yang datanya tidak tersedia untuk umum.⁵ Dengan informasi ini, CAT telah menghitung biaya sosial karbon, tekanan air, dan polusi udara dengan dasar \$/MWh sehingga setiap metrik dapat digabungkan dengan biaya pengoperasian secara modular. Hal ini memungkinkan pengguna mengembangkan "biaya pengoperasian" mereka sendiri dari pembangkit yang kemudian bisa digunakan sebagai masukan ke model penghentian yang lebih luas.

1 UNFCCC ([2021](#)).

2 TransitionZero ([2021](#)).

3 Climate Investment Funds ([2021](#)).

4 Lihat Lampiran untuk informasi selengkapnya.

5 TransitionZero ([2021](#)).

Tabel 1. Variabel yang dihitung di dalam CAT dan SDG yang relevan.

| SDG terkait | Metrik CAT |
|---|---|
| SDG 3 (Kehidupan sehat dan kesejahteraan) | Biaya sosial polusi udara setempat (\$/MWh) |
| | Biaya sosial dari total polusi udara (\$/MWh) |
| SDG 6 (Air bersih dan sanitasi layak) | Biaya sosial stres air (\$/MWh) |
| SDG 7 (Energi bersih dan terjangkau) | Perkiraan harga (\$/MWh) |
| | Sisa umur aset |
| | Biaya pensiun dini/nilai akuisisi (\$) |
| | Potensi penghematan CO2 dari pensiun dini (tCO2) |
| | Nilai offset karbon dari pensiun dini (\$) |
| | Margin cadangan jaringan (%) |
| | Biaya operasional (\$/MWh) |
| | Profitabilitas jangka pendek (\$/MWh) |
| | Profitabilitas jangka Panjang (\$/MWh) |
| | LCOE penggantian bersih (\$/MWh) |
| | LCOE penggantian bersih + penyimpanan (\$/MWh) |
| | Biaya peralihan ke karbon gas dasar (\$/tCO2) |
| SDG 8 (Pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi) | Kehilangan lapangan kerja dari penutupan |
| | Kehilangan lapangan kerja energi terbarukan pengganti |
| SDG 13 (Penanganan perubahan iklim) | Biaya eksternalitas iklim (\$/MWh) |

Sumber: TransitionZero

Metrik CAT menunjukkan rata-rata 3 tahun untuk memastikan bahwa tren pasar sementara tidak memengaruhi perencanaan penghentian jangka panjang. CAT akan diperbarui setiap 6 bulan. Bersama dengan dokumen metodologi ini, unduhan data Excel dan alat pemeriksaan interaktif akan disediakan. Terdapat banyak variabel lain yang dapat disertakan di dalam CAT. Kami menyambut rekomendasi dari semua pemangku kepentingan tentang cara pengembangan agar model ini lebih kokoh dan berdaya.

Metodologi

CAT menyajikan biaya operasional pembangkit, titik data dampak keuangan dan pekerjaan, serta biaya sosial dari eksternalitas lingkungan tertentu. Dengan metrik ini, pengguna dapat memperoleh pandangan menyeluruh tentang biaya operasional pembangkit. Tujuan mempresentasikan setiap variabel dengan cara modular ini adalah agar pengguna dapat memahami dan menerapkan satu atau semua variabel untuk aplikasi pemeriksaan yang unik. Unit tenaga batu bara bersumber dari Global Coal Plant Tracker (GCPT) dari Global Energy Monitor.⁶ Variabel yang disertakan dalam CAT mewakili nilai bulanan rata-rata selama 3 tahun terakhir.

SDG 3: Kehidupan sehat dan kesejahteraan

SDG 3 dari Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan adalah untuk memastikan kehidupan yang sehat dan mempromosikan kesejahteraan untuk semua usia, dan mengurangi jumlah kematian dan penyakit akibat bahan kimia berbahaya dan polusi.⁷ Pembangkit listrik tenaga uap batu bara bertanggung jawab atas kematian dan kesakitan melalui pencemaran udara.

Meskipun polutan langsung, seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_x), memiliki dampak yang merusak kesehatan, materi partikulat dengan diameter kurang dari 2,5 mikron ($\text{PM}_{2.5}$) sangat berbahaya karena cukup kecil untuk menembus paru-paru dan memasuki aliran darah, serta menembus sawar darah-otak. Akibatnya, $\text{PM}_{2.5}$ berhubungan dengan kerusakan kardiovaskular, dan akhirnya ini telah dikaitkan dengan kerusakan sistem syaraf. Meskipun penelitian tentang dampak $\text{PM}_{2.5}$ masih berlangsung, jelas bahwa analisis keuntungan biaya dari pembangkit listrik harus mencakup eksternalitas tersebut.

SO_2 dan NO_x juga memiliki dampak kesehatan yang negatif, tetapi kami hanya memodelkan dampaknya melalui konversinya ke $\text{PM}_{2.5}$ di atmosfer. Ada dua alasan di balik keputusan ini. Pertama, dampak langsung dari SO_2 dan NO_x terhadap tingkat kematian berada di urutan kedua dibanding $\text{PM}_{2.5}$.⁸ Kedua, menambahkan dampak yang didasarkan pada penelitian terpisah dari setiap polutan meningkatkan risiko penghitungan ganda. Hal ini karena semua polutan sangat berkorelasi sehingga biaya yang dikaitkan dengan setiap polutan sering kali mewakili biaya polutan yang lain.

Pendekatan kami juga mengabaikan biaya morbiditas, seperti hilangnya hari kerja, asma masa kecil, dll. Alasan untuk hal ini juga ada dua. Pertama, dampak morbiditas berada di urutan kedua dibandingkan dampak mortalitas dalam hal nilai. Kedua, pemodelan morbiditas pada tingkat granular membutuhkan lebih banyak asumsi dan persyaratan data yang tidak kita miliki pada saat ini. Ini adalah sesuatu yang dapat kita kembangkan dari model yang sekarang untuk disertakan di masa depan.

⁶ Global Energy Monitor ([2021](#)).

⁷ UN Department of Economic and Social Affairs and Sustainable Development ([2021](#))

⁸ IEA ([2016](#)).

Sejauh pemerintah lokal dan nasional bekerja untuk kepentingan warganya, biaya dampak kesehatan yang negatif meningkatkan risiko penutupan pembangkit listrik tenaga batu bara. Hal ini dapat memberikan informasi kepada para investor mengenai profil risiko dari pembangkit maupun perusahaan. Sebagian besar pemerintah mencoba memperkirakan angka yang sama dengan ini sebagai masukan untuk menginformasikan kebijakan. Karena analisis biaya-manfaat seperti itu sering kali tidak tersedia untuk umum, CAT dapat mengisi celah dalam menginformasikan pemangku kepentingan tentang apa yang dipikirkan pemerintah terkait implementasi kebijakan di masa depan.

Metodologi yang digunakan untuk memperkirakan dampak mortalitas PM_{2.5} dapat dipecah menjadi sebagai berikut:

1. Hitung inhalasi PM_{2.5} yang dapat diatribusikan ke setiap pembangkit untuk tahun model tertentu. PM_{2.5} primer dan sekunder sama-sama dikonversi dari SO₂ dan NO_x juga termasuk. Sebuah penelitian yang diterbitkan oleh para peneliti di Harvard menyimpulkan bahwa model-model sederhana dapat menangkap sebagian besar varian dalam laju inhalasi yang ditemukan oleh model-model atmosfer yang rumit.⁹ Sekitar 90% varian, sebagaimana diukur dengan R², ditangkap oleh model-model yang melakukan regresi dengan hanya menggunakan 4 ambang batas jarak: "Risiko tinggi" - 100 km, "Risiko sedang" - 500 km, "Risiko sedang-rendah" - 1.000 km, "Risiko rendah" - 3.300 km. Sebagai hasil dari penelitian ini, kita dapat menghitung proporsi PM_{2.5} yang dilepaskan pada cerobong asap yang akhirnya terhirup dengan persamaan berikut:

$$PM_{2.5}^{iFR} = \sum_{A_i} \alpha P_i + \epsilon$$

Keterangan:

- A_i = Intake area/
Area asupan (berdasarkan tingkat keparahan risiko di atas)
- P_i = Populasi di area asupan
- α = Persentase yang dihirup oleh anggota populasi rata – rata dalam area asupan
- ϵ = Error

Kami mundur dari peningkatan tersirat dalam tingkat konsentrasi udara menggunakan rumus berikut ini untuk fraksi masuk (*intak fraction*/IFR):

$$iFR = \frac{\sum_{n=1}^n P_i C_i BR}{Q}$$

Keterangan:

- BR = Tingkat pernapasan ($\frac{m^3}{d}$)
- P_i = Population di area i

⁹ Harvard School of Public Health (2006)

- C_i = Konsentrasi polusi tambahan dalam area i
- Q = Tingkat emisi ($\frac{g}{s}$)

Asumsi partikulat saat ini didasarkan pada intensitas emisi yang digunakan dalam Air Pollution Impact Model for Electricity Supply (AIRPOLIM-ES) yang diterbitkan oleh New Climate Institute, yang awalnya diterbitkan oleh GAINS (dihitung untuk Parry et al. 2014). Intensitas emisi dibagi di tingkat negara menurut jenis polutan ($PM_{2.5}$, NO_x , SO_2) dan jenis pengendaliannya (terkendali vs tidak terkendali). Artinya, variabilitas eksternalitas polusi udara didorong oleh jenis polutan, jenis pengendalian, serta kepadatan penduduk di sekitar pembangkit.

- Gunakan hubungan yang dikalibrasi secara empiris antara inhalasi $PM_{2.5}$ dan kematian untuk penyakit yang paling terkait dengan konsentrasi $PM_{2.5}$ untuk menghitung jumlah kematian yang disebabkan oleh setiap pembangkit di subkawasan yang relevan di sekitar pembangkit. Hubungan semacam ini dikenal sebagai fungsi respons konsentrasi (*concentration response function/CRF*) dan dianggap linier. Ini berarti bahwa jika 10% populasi meninggal karena penyakit tertentu dan CRF 10% untuk peningkatan 10 mg/m^3 pada $PM_{2.5}$, peningkatan 20 mg/m^3 konsentrasi $PM_{2.5}$ di suatu daerah akan meningkatkan persentase orang yang meninggal karena penyakit tersebut di daerah itu menjadi $10 * 1,1 = 12,1\%$. Kami mengandalkan data beban penyakit global 2019 dari Organisasi Kesehatan Dunia (World Health Organization/WHO), yang memiliki tingkat kematian tingkat negara untuk 4 penyakit terkait polusi udara utama yang kami modelkan (kanker paru-paru, penyakit paru obstruktif kronik, penyakit jantung iskemik, dan stroke).¹⁰
- Hitung biaya sosial kematian tersebut berdasarkan nilai statistik kehidupan. "Nilai statistik kehidupan" ini adalah metrik ekonomi yang mewakili perdagangan lokal antara risiko kematian dan uang. Proses ini melibatkan perhitungan nilai statistik kehidupan yang berbeda untuk setiap negara dalam wilayah perhitungan mengikuti rumus penyesuaian IMF.¹¹ Jika ada biaya dari polusi yang diproyeksikan ke masa depan, maka biaya itu akan berkurang dengan menggunakan Social Time Preference Rate (STPR) yang ditetapkan oleh HM Treasury.¹²

$$SVL_{Country} = SVL_{OECD} \left(\frac{Income_{Country}}{Income_{OECD}} \right)^\epsilon$$

Keterangan:

- $SVL_{Country}$ = Nilai statistik kehidupan di negara model
- SVL_{OECD} = Nilai statistik rata – rata kehidupan di negara – negara OECD
- ϵ = SVL: Rasio pendapatan

¹⁰ WHO (2019)

¹¹ IMF (2014)

¹² HM Treasury (2020)

Kami menggunakan SV_{LOECD} senilai \$3 juta berdasarkan analisis meta komprehensif studi terhadap nilai statistik kehidupan yang dilakukan OECD setelah memperhitungkan CPI yang ditetapkan bagi OECD.¹³

Setelah tingkat kematian dan biaya sosial kematian ini dihitung menggunakan metodologi di atas, kita akan membagi biaya ini dengan keseluruhan generasi dalam periode waktu yang diinginkan untuk mengubah biaya menjadi \$/MWh. Kami mengidentifikasi total biaya eksternalitas polusi udara, dan juga biaya eksternalitas polusi udara (di negara), dengan pemahaman bahwa pemerintah mungkin tidak tertarik untuk menghitung dampak negatif dari pembangkit listrik tersebut terhadap negara-negara tetangga.

SDG 6: Air bersih dan sanitasi layak

SDG 6 dari 2030 Agenda untuk Pembangunan Berkelanjutan adalah untuk memastikan ketersediaan dan pengelolaan air dan sanitasi untuk semua.¹⁴ Pembangkit batu bara menggunakan air untuk mendinginkan, mengolah, membersihkan, dan membakar batu bara. Penggunaan ini bisa terjadi dengan mengorbankan penggunaan lain. Pembangkit batu bara memerlukan banyak air untuk operasionalnya. Air diperlukan untuk mendinginkan peralatan, untuk digunakan sebagai pembuang panas dalam siklus termodinamika pembangkit listrik, dan pada tingkat lebih rendah, untuk pra-perawatan batu bara dan pengendalian polusi. Ada banyak kasus pembangkit batu bara yang mati karena kekurangan air. Salah satu kejadian drastis ini terjadi di India pada 2016, ketika selama kekeringan ekstrem, 14 TWh (sekitar total pembangkit termal tahunan Sri Lanka), tidak dapat beroperasi karena kekurangan air.¹⁵

Untuk mengukur stres air, kami menerapkan metodologi yang dikembangkan oleh Michael Ridley dan David Boland, yang didasarkan pada Water Risk Valuation Tool dari Bloomberg.¹⁶ Model tersebut bertujuan menghitung nilai air untuk berbagai sektor di luar pembangkit listrik, dengan menghitung "harga bayangan", atau Total Economic Value of Water (TEV). TEV berfungsi untuk menangkap meningkatnya biaya air ketika penawaran menurun dan permintaan meningkat. Masukan utama dalam kalkulasi harga bayangan ini adalah dari Baseline Water Stress (BWS) dari basis data Aqueduct dari WRI¹⁷, data populasi¹⁸ dan nilai *disability adjusted life* (DALY). DALY adalah metrik WHO yang merepresentasikan kerugian setara dengan satu tahun kesehatan penuh.

$$TEV = \text{Nilai agrikultur} * \text{Nilai domestik} + \text{Dampak kesehatan manusia} + \text{Dampak lingkungan}$$

13 OECD (2012)

14 UN Department of Economic and Social Affairs and Sustainable Development (2021)

15 WRI (2021)

16 Ridley dan Boland (2018)

17 Aqueduct Water Risk Atlas (2019)

18 UN Department of Economic and Social Affairs and Sustainable Development (2021)

Keterangan:

- Nilai agrikultur = $\frac{2W}{5}$
- Nilai domestik = $P \left(\frac{4}{5} (W + 1) \right)$
- Dampak kesehatan manusia = $PD(2 * 10^{-8} * W^2 + 10^{-8} * W + 10^{-7})$
- Dampak lingkungan = $P \left(\frac{W}{10} \right) * (0.031 * W^2 + 0.015 * W)$
- W = Skor WRI Aqueduct Baseline Water Stress (BWS)
- P = Bobot populasi
- D = Nilai disability adjusted life year (DALY)

TEV kemudian menjadi masukan untuk menghitung total eksternalitas negatif yang berhubungan dengan stres air bagi pembangkit tertentu. Tingkat penggunaan air berikut diasumsikan berdasarkan jenis pendinginan dan teknologi yang digunakan.¹⁹ Tingkat penggunaan air tersebut hanya mewakili penggunaan air *bersih* oleh pembangkit. Penggunaan air sekali pakai hanya menangkap ekstraksi air bersih, dan pendinginan resirkulasi hanya menangkap kehilangan penguapan. Karena volume kehilangan air bersih digunakan, biaya sosial dari stres air yang disajikan dalam CAT adalah perkiraan konservatif. Meskipun penggunaan air bersih mungkin rendah, namun mungkin ada kondisi di wilayah dengan stres air yang tinggi dan air yang tidak cukup untuk memenuhi persyaratan *throughput* untuk pendinginan, yang tidak ditangkap oleh CAT versi ini.

Tabel 2. Penggunaan air bersih berdasarkan jenis teknologi pendinginan

| Jenis Teknologi & Pendinginan | Penggunaan Air bersih (L/kWh) |
|--|-------------------------------|
| Batu bara, sekali pakai, subkritikal | 0,52 |
| Batu bara, sekali pakai, superkritikal | 0,47 |
| Batu bara, resirkulasi, subkritikal | 1,75 |
| Batu bara, resirkulasi, superkritikal | 1,96 |

Sumber: World Nuclear Association ([2020](#))

Dengan asumsi di atas, jumlah air yang digunakan pada setiap pembangkit listrik diperkirakan dari jumlah listrik yang dihasilkan selama periode waktu analisis. Dari situ, dengan kondisi keuangan yang ada, maka tekanan air per satuan pembangkitan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Eksternalitas\ tekanan\ air\ (\$/MWh) = \frac{Total\ pemakaian\ air * TEV}{Pembangkitan\ (MWh)}$$

Meskipun alat Aqueduct WRI relatif lengkap, masih ada beberapa kesenjangan dalam skor BWS untuk wilayah tertentu. Dalam situasi di mana tidak ada data Aqueduct yang menguraikan tekanan air, kami menetapkan nilai nol untuk biaya eksternalitas air untuk menghindari estimasi berlebihan eksternalitas negatif yang terkait dengan stres air di tingkat pembangkit. Ini akan disempurnakan dalam versi

¹⁹ World Nuclear Association ([2020](#))

CAT dalam waktu dekat. Selain itu, kami merencanakan untuk memperluas stres air agar mencakup penggunaan air kotor untuk menggambarkan dengan lebih akurat risiko tekanan air yang dapat terjadi pada operasional pembangkit.

SDG 7: Energi bersih dan terjangkau

SDG 7 dari Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan adalah untuk memastikan akses ke energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern untuk semua.²⁰ Metrik CAT berikut berkaitan dengan SDG ini:

Biaya pensiun dini/nilai akuisisi

Menilai biaya pensiun dini untuk pembangkit listrik tenaga uap batu bara biasanya memerlukan kuantifikasi nilai keuangan pembangkit, yang akan membentuk dasar negosiasi harga akuisisi. Ini biasanya dilakukan dari dua perspektif berbeda: (1) menilai sisa nilai investasi dari aset tersebut dengan menggunakan belanja modal yang belum dipulihkan dan (2) menilai nilai aliran pendapatan di masa depan.

Penilaian sisa nilai investasi, terkadang disebut sebagai nilai buku dari pembangkit, dapat menurunkan nilai aset tersebut karena mengabaikan potensi pengembalian investasi tambahan. Asumsi akuisisi penuh dari aliran pendapatan masa depan, dalam hal ini sisa nilai perjanjian jual beli listrik (PPA), kemungkinan besar dapat mengakibatkan kompensasi yang berlebihan bagi pemilik pembangkit batu bara, yang berpotensi membuat konsumen yang menanggung jika menggunakan pembiayaan publik.

Kebutuhan untuk menyelaraskan perspektif biaya dan nilai pembangkit listrik mendasari mengapa estimasi biaya pensiun dini merupakan tantangan, dengan berbagai lapisan. Metodologi TransitionZero dalam membuat perkiraan biaya pensiun dini didukung oleh persamaan berikut:

$$\text{Biaya pensiun dini} = \text{Tahun masa pensiun dini} * \text{Pembangkitan tahunan} * (\text{tarif PPA} - \text{Biaya bahan bakar} - \text{Biaya karbon})$$

Keterangan:

- Tahun masa pensiun dini = Jumlah tahun akuisisi dalam skenario pensiun dini
- Tarif PPA = Perkiraan harga tarif saat ini per unit listrik yang dihasilkan (\$/MWh)
- Biaya bahan bakar = biaya rata-rata bahan bakar tiga tahun (\$/MWh)
- Biaya karbon = biaya karbon rata-rata tiga tahun (\$/MWh)

Prinsip yang mendasari metodologi kami adalah bahwa biaya dana pensiun dini harus dapat diterima oleh semua pihak yang terlibat. Pemilik pembangkit listrik perlu

²⁰ UN Department of Economic and Social Affairs and Sustainable Development (2021)

diberi kompensasi yang adil untuk keuntungan yang hilang, sementara pemodal diharapkan tidak membayar lebih untuk aset tersebut.

Dengan demikian, metodologi TransitionZero dibangun di atas pendekatan berbasis biaya, sehingga menambahkan penyangga margin keuntungan pada pembangkit batu bara. Biaya dana pensiun dini kemudian mencakup CAPEX, OPEX, dan margin keuntungan pembangkit yang dapat diterima. Biaya bahan bakar dikeluarkan dari perhitungan karena dianggap bahwa batu bara yang tidak digunakan akan dijual di pasar internasional, dan oleh karena itu tidak perlu dibeli. Biaya karbon juga dihilangkan dari biaya pembangkit batu bara karena biaya tersebut tidak akan dikenakan ketika pembangkit telah ditutup.

Proses akuisisi berbeda antara satu negara dan negara lain berdasarkan peraturan regional yang unik dan aspek lainnya. Silakan lihat Lampiran untuk metodologi spesifik di setiap negara.

Peringatan penting untuk diperhatikan di sini adalah bahwa meskipun kami menyajikan data untuk pensiun dini pembangkit mandiri, perhitungan ini tidak memperhitungkan keseluruhan perkiraan biaya pensiun versi kami. Ini karena:

- Beberapa pembangkit mandiri berada di daerah-daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik nasional. Oleh karena itu, pembangkit tersebut mungkin tidak dapat mengakses listrik jika sudah ditutup.
- Beberapa pembangkit mandiri diintegrasikan ke dalam proses industri, yang membuatnya sulit untuk mendesain dan mengerjakan ulang proses dan lokasi industri saat memensiunkan aset ini.
- Mekanisme keuangan dan insentif yang mendukung masa pensiun pembangkit mandiri kurang dipahami.

Tarif PPA

Pembangkit listrik biasanya dibiayai melalui perjanjian jual beli listrik (*power purchase agreement/PPA*), yang menjadi dasar pemetaan aliran pendapatan pembangkit batu bara di masa depan, serta dalam perhitungan profitabilitas pembangkit tersebut. PPA adalah perjanjian kontrak antara pembeli dan penjual. Mereka bersepakat untuk membeli dan menjual sejumlah listrik yang dihasilkan atau akan dihasilkan oleh aset pembangkit. Untuk keperluan alat ini, kami mengacu pada harga PPA dalam istilah yang lebih umum untuk merujuk pada perjanjian penjualan listrik dengan harga yang telah ditentukan.

Di sebagian besar pasar, PPA dianggap sensitif secara komersial dan tidak tersedia untuk umum. PPA di pasar listrik yang diregulasi bahkan dijaga kerahasiaannya.

Sebagaimana terlihat dari Tabel 4, data PPA yang tersedia di level aset bukanlah hal yang lazim di Asia. Meskipun tersedia, pengumpulan datanya akan sulit karena keragaman materi sumber (khususnya untuk artikel media). Untuk menghadapi tantangan ini, kami telah menyusun metodologi sendiri untuk menyertakan PPA ke

dalam alat CAT. Metodologi ini sangat spesifik sesuai dengan pasarnya dan berusaha menyertakan sensitivitas pasar sebanyak mungkin.

Tabel 3: Ketersediaan data PPA di wilayah tertentu

| Negara | Ketersediaan data PPA |
|---------------|--|
| Tiongkok | Buruk - detail PPA jarang tersedia untuk umum. |
| India | Baik - Detail PPA terkadang dilaporkan oleh regulator atau ada di artikel media. Pengumpulan data kemungkinan besar akan menjadi tantangan. |
| Jepang | Buruk - detail PPA jarang tersedia untuk umum. |
| Korea Selatan | Baik - Detail PPA terkadang dilaporkan oleh regulator atau ada di artikel media. Pengumpulan data kemungkinan besar akan menjadi tantangan. |
| Indonesia | Baik - Detail PPA terkadang dilaporkan oleh regulator atau ada di artikel media, namun titik data tersebut mungkin tidak dapat diandalkan dan sulit untuk diverifikasi. |
| Vietnam | Buruk - detail PPA jarang tersedia untuk umum. |
| Filipina | Bagus – Komisi Peraturan Energi (Energy Regulatory Commission/ERC) biasanya melaporkan dalam Perjanjian Jual Beli Listrik (Power Supply Agreement/PSA) mereka yang di hilir. |

Sumber: TransitionZero

Silakan lihat Lampiran untuk metodologi dan detail PPA spesifik di setiap negara.

Pensiun dini

Tidak ada definisi yang diterima secara universal tentang apa makna dari pensiun dini. Untuk keperluan peragaan ini, TransitionZero telah membuat jadwal pensiun dini.

Untuk aset dengan sisa umur kurang dari 10 tahun, "pensiun dini" akan berarti membeli sisa umur aset untuk penutupan segera. "Pensiun dini" untuk aset dengan sisa umur lebih dari 10 tahun akan memiliki nilai akuisisi maksimal 10 tahun untuk pembangkit batu bara.

Sisa umur aset

Sisa umur aset menunjukkan jumlah tahun, dari tahun ini, bahwa pembangkit diharapkan dapat beroperasi berdasarkan umur operasional pembangkit dalam kondisi seperti biasa. Nilai ini digunakan dalam penghitungan penghematan karbon dari pensiun dini, serta nilai akuisisi pembangkit. Dalam kedua perhitungan itu, diasumsikan bahwa masa pensiun dini pembangkit akan segera berlangsung pada tahun ini.

Sisa umur aset = Tahun operasi – (Tahun mulai – Tahun sekarang)

Potensi penghematan CO2 dari pensiun dini

Jika offset karbon menjadi alat yang lebih menonjol bagi perusahaan dan negara untuk memenuhi tujuan nol bersih, maka kuantifikasi nilai karbon semakin penting. CAT mengkuantifikasi potensi penghematan emisi karbon dari masa pensiun dini sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Penghematan karbon (tCO2)} \\ & = P_{ej} * \text{Pembangkitan tahunan (MWh)} * \text{Tahun pensiun dini} \end{aligned}$$

Keterangan:

- P_{ej} = Intensitas emisi pembangkit (tCO2/MWh)

Nilai offset karbon dari pensiun dini

Nilai dari emisi yang “dihilangkan” di atas kemudian dikuantifikasi berdasarkan asumsi nilai karbon.

$$\begin{aligned} & \text{Nilai penghematan CO2 (\$)} \\ & = \text{Penghematan karbon (tCO2)} \\ & * \text{Asumsi nilai offset karbon (\$/tCO2)} \end{aligned}$$

Nilai offset karbon diasumsikan sebesar \$10/tCO2 digunakan untuk perhitungan dalam unduhan data dan dasbor CAT. Namun, pengguna dapat memasukkan nilai offset karbon mereka sendiri ke dalam CAT UI untuk menghitung nilai emisi karbon offset ini berdasarkan asumsi mereka sendiri.

Margin cadangan

Perencanaan pensiun pembangkit batu bara tidak bisa dilakukan secara terisolasi dan harus dilihat secara menyeluruh dalam kaitannya dengan kestabilan dan keandalan jaringan. Misalnya, akan lebih masuk akal untuk menghentikan pembangkit listrik tenaga batu bara di daerah yang kelebihan kapasitas, dibandingkan dengan daerah yang pasokan listriknya hampir tidak memenuhi permintaan listrik. Dengan demikian, kami berusaha memberikan lapisan wawasan tambahan tentang keadaan infrastruktur jaringan listrik di kawasan dengan menggunakan margin cadangan sebagai proksi.

Silakan lihat Lampiran untuk metodologi dan detail margin cadangan spesifik di setiap negara.

Biaya operasional

Biaya operasional pembangkit mewakili jumlah dolar yang diperlukan untuk menghasilkan satu unit listrik.

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya operasional} \left(\frac{\$}{MWh} \right) \\
 = \text{Harga bahan bakar} \left(\frac{\$}{MWh} \right) + \text{Biaya karbon} (\$/MWh) + \text{VOM} (\$/MWh) \\
 + \text{FOM} (\$/MWh)
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- VOM = Biaya O&M Tidak Tetap
- FOM = Biaya O&M Tetap

Biaya bahan bakar dan biaya karbon masing-masing telah dikonversi dari \$/t dan \$/tCO₂ menjadi \$/MWh untuk tujuan integrasi ke dalam perhitungan biaya operasi. Biaya VOM dan FOM berasal dari asumsi biaya WEO Plant 2020. Kami menganggap FOM setara dengan 90% dari biaya VOM, kecuali jika ada informasi yang lebih detail di setiap negara.

Untuk negara-negara yang mengandalkan impor batu bara, harga bahan bakar tertimbang dihitung berdasarkan negara asal untuk 90% dari semua impor batu bara menggunakan data dari UN Comtrade dan ICE untuk indeks harga terkait. Untuk negara-negara yang batu baranya ditambang secara lokal, harga mulut tambang digunakan dari basis data lokal. Harga memperhitungkan kualitas bahan bakar, pajak impor, biaya transportasi, dll. Jika informasi transportasi dan/atau pajak tidak tersedia, kami menggunakan asumsi biaya transportasi \$5/t dan pajak impor 20%.

Keuntungan jangka panjang

Keuntungan jangka panjang pembangkit ini adalah keuntungan pembangkit berdasarkan biaya operasional pembangkit. Meskipun hal ini sebagian besar didorong oleh biaya operasional, harga tarif yang diterima oleh pembangkit pada akhirnya akan menentukan keuntungan.

$$\begin{aligned}
 \text{Profitabilitas jangka panjang} \left(\frac{\$}{MWh} \right) \\
 = \text{Harga tarif} \left(\frac{\$}{MWh} \right) - \text{Biaya operasional} (\$/MWh)
 \end{aligned}$$

LCOE penggantian bersih

Biaya listrik yang diratakan (LCOE) dari penggantian bersih – yang berarti PV surya skala utilitas atau angin darat – mewakili harga berdasarkan MWh untuk menutup biaya proyek dan mencapai tingkat pengembalian minimum investasi yang diperlukan.

LCOE penggantian bersih + penyimpanan

LCOE penggantian bersih + penyimpanan sama dengan di atas, tetapi juga mencakup biaya penyimpanan yang terkait dengan teknologi penggantian bersih yang telah diinstal.

Biaya peralihan ke karbon gas dasar

Biaya peralihan ke karbon gas dasar mewakili harga karbon dengan basis $\$/tCO_2$ untuk memicu keputusan peralihan bahan bakar dari pembangkitan batu bara di pembangkit batu bara yang ada ke pembangkit gas di pembangkit gas yang baru dibangun. Nilai ini adalah output dari Coal to Clean Carbon Price Index (C3PI) TransitionZero.

Subsidi energi

Bagi banyak negara, subsidi energi merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam sektor kelistrikan. Jika ada, TransitionZero telah memperhitungkan subsidi energi negara per negara. Silakan lihat Lampiran untuk metodologi dan detail subsidi energi spesifik di setiap negara.

SDG 8: Pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi

SDG 8 dari Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan adalah untuk mendorong pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan, lapangan kerja penuh dan produktif, serta pekerjaan yang layak untuk semua.²¹ Untuk mencapai sasaran suhu Perjanjian Paris, diperlukan penutupan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara. Namun, penutupan ini mau tidak mau akan berdampak buruk pada masyarakat yang bergantung pada pembangkit tersebut untuk pekerjaan dan kegiatan ekonomi. Untuk memastikan transisi yang adil ke arah energi terbarukan, penting untuk memahami hilangnya pekerjaan akibat dari penutupan pembangkit batu bara.

Ada berbagai cara untuk mengukur pekerjaan yang terkait dengan industri, yang dibagi ke dalam tiga kategori utama:

- Pekerjaan langsung - pekerjaan yang terkait langsung dengan sektor yang bersangkutan
- Pekerjaan tidak langsung - pekerjaan yang terkait dengan pemberian dukungan dan penyediaan di sektor yang bersangkutan
- Pekerjaan terinduksi - jenis pekerjaan yang tercipta saat karyawan dari dua kategori di atas membelanjakan pendapatan mereka dalam kegiatan ekonomi.

Analisis ini hanya akan berfokus pada dampak pekerjaan langsung. Evaluasi ini juga memperkirakan jumlah sebenarnya dari pekerjaan yang timbul/terkait dengan teknologi tertentu, bukan tahun pekerjaan, yang sering kali dapat menyebabkan kebingungan dan menimbulkan ketidakjelasan mengenai jumlah lapangan kerja sebenarnya yang terkait dengan suatu proyek. Dampak pekerjaan langsung dihitung baik untuk kehilangan pekerjaan yang terkait dengan penutupan pembangkit listrik tenaga batu bara maupun untuk pekerjaan yang tercipta ketika mengganti pembangkit tersebut dengan pembangkit baru yang terbarukan.

$$\begin{aligned} & \text{Dampak pekerjaan langsung} \\ &= \frac{\text{Estimasi pekerjaan}}{\text{MW}} * \text{Kapasitas pembangkit (MW)} \end{aligned}$$

Untuk setiap negara, tinjauan literatur dilakukan dalam menentukan nilai yang sesuai untuk digunakan untuk jumlah pekerjaan per MW dari kapasitas batu bara yang terpasang. Data awal itu seringkali disampaikan dalam masa kerja. Dalam kasus ini, langkah-langkah berikut diambil untuk mengonversi metrik menjadi jumlah pekerjaan yang tercipta:

- Konversi metrik tahun-pekerjaan ke tahun-pekerjaan setiap tahun, jika belum ditunjukkan dengan cara itu. Sebagai contoh, 700.000 tahun pekerjaan yang diciptakan dalam rentang waktu 10 tahun setara dengan 70.000 pekerjaan dalam jangka waktu 1 tahun.
- Hitung jumlah pekerjaan langsung yang terkait dengan sebuah proyek, dengan asumsi 50% pekerjaan yang tercipta adalah pekerjaan langsung, dengan

²¹ UN Department of Economic and Social Affairs and Sustainable Development (2021)

pekerjaan tidak langsung dan terinduksi, masing-masing akan berkurang 25% dari penciptaan total lapangan kerja.²²

- Hitung jumlah pekerjaan yang terkait dengan kapasitas terpasang seperti yang dijelaskan dalam tinjauan literatur.

Transisi dari batu bara seharusnya tidak hanya berfokus pada pekerjaan yang hilang akibat penutupan pembangkit, tetapi juga pekerjaan yang diciptakan oleh proses konstruksi dan pengoperasian teknologi bersih pengganti. Kapasitas energi baru yang diperlukan untuk menggantikan operasi pembangkit batu bara dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas RE pengganti (MW)} = \frac{\text{Pembangkitan batu bara tahunan (MWh)}}{8760 * \text{faktor kapasitas RE (\%)}}$$

Tinjauan literatur kemudian dilakukan serupa dengan proses yang diuraikan di atas untuk menentukan berapa banyak pekerjaan yang terkait dengan setiap MW yang dipasang, baik untuk tenaga surya maupun angin darat. Dengan demikian, CAT menangkap pekerjaan yang pasti akan hilang dalam setiap penutupan pembangkit listrik tenaga batu bara, tetapi juga pekerjaan yang akan tercipta dengan pembangunan teknologi bersih pengganti, sehingga memberikan pandangan menyeluruh tentang dampak pekerjaan yang terkait dengan pensiunnya pembangkit batu bara. Dengan program pelatihan ulang yang tepat, para pekerja pembangkit batu bara dapat memetik manfaat dari transisi ke pembangkit listrik yang bersih. Program semacam ini sangat penting untuk memastikan transisi yang tepat pada saat perekonomian menjauh dari bahan bakar fosil dan menuju pembangkit listrik terbarukan.

²²

Global Green Growth Institute ([2020](#))

SDG 13: Penanganan perubahan iklim

SDG 13 dari Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan adalah untuk mengambil tindakan segera guna memerangi perubahan iklim dan dampaknya.²³ Untuk mengukur harga karbon yang konsisten dengan sasaran 1,5 °C, kami menggunakan asumsi yang diuraikan dalam skenario 2021 World Energy Outlook (WEO) Net Zero Emissions by 2050 oleh IEA.²⁴ WEO menggunakan asumsi harga karbon \$130/tCO₂ untuk negara ekonomi maju, \$90/tCO₂ untuk negara ekonomi berkembang utama dan \$15/t untuk negara berkembang lainnya.²⁵ Untuk menangkap "biaya iklim" eksternal yang terkait dengan setiap aset, kami menghitung perbedaan antara penetapan harga karbon nol bersih yang digariskan WEO dan penetapan harga karbon apa pun yang sudah ada untuk menghindari penghitungan ganda. Harga-harga ini dikonversi ke \$/MWh berdasarkan asumsi yang diuraikan dalam Lampiran.

²³ UN Department of Economic and Social Affairs and Sustainable Development ([2021](#))

²⁴ IEA ([2021](#))

²⁵ Negara ekonomi maju adalah bagian dari Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), termasuk Tiongkok, Rusia, Brasil, dan Afrika Selatan.

Beberapa kriteria unik

Variabel kunci ini telah disajikan secara terpisah sehingga dapat digunakan sebagai input ke dalam model fase penghentian yang ditentukan pengguna. Hal ini memungkinkan pemangku kepentingan untuk memasukkan, mengecualikan, dan memberi bobot pada kombinasi variabel yang diuraikan dengan cara yang paling sesuai untuk kriteria dan batasan penghentian yang ditentukan pengguna.

Batasan

CAT hendaknya tidak dilihat sebagai solusi 'instan', melainkan alat yang tersedia untuk umum bagi pemangku kepentingan dan pengambil keputusan untuk melakukan pemeriksaan awal terhadap pembangkit yang menunjukkan potensi untuk diganti berdasarkan satu atau lebih kriteria. Metrik CAT menunjukkan rata-rata 3 tahun untuk memastikan bahwa tren pasar sementara tidak memengaruhi perencanaan penghentian jangka panjang. CAT akan diperbarui setiap 6 bulan. Kami yakin bahwa CAT Tool memiliki dua batasan utama: alat ini hanya mencakup kriteria yang terbatas dalam stabilitas jaringan dan tidak mempertimbangkan dampak pekerjaan tidak langsung secara regional. Batasan ini dibahas di bawah dan di bab iterasi mendatang.

Listrik tidak dapat disimpan di jaringan listrik, sehingga jumlah listrik yang masuk harus selalu sama dengan jumlah listrik yang keluar. Ini berarti produksi dan konsumsi harus selalu seimbang. Keseimbangan ini memastikan pengoperasian jaringan yang aman dan stabil pada frekuensi yang konstan. Jika terjadi fluktuasi yang tidak terduga, operator di ruang kendali jaringan menggunakan cadangan yang disimpan oleh pembangkit listrik dan bisa diambil bila diperlukan. Pembangkit listrik dapat meningkatkan atau menurunkan daya untuk mengimbangi kekurangan atau kelebihan energi listrik. Penutupan aset memerlukan pertimbangan yang cermat karena berpotensi mengganggu kestabilan jaringan. Berdasarkan versi CAT saat ini, penilaian stabilitas jaringan harus dilakukan secara terpisah bekerja sama dengan operator jaringan dan perencana sumber daya. Dalam iterasi di masa mendatang, kami bermaksud untuk memasukkan penilaian stabilitas jaringan melalui Future Energy Outlook (FEO), yaitu sebuah model perencanaan sistem sumber terbuka yang sedang kami kembangkan.

Menutup dan mengubah penggunaan batu bara memiliki sejumlah dampak seperti ketenagakerjaan dan masalah ekonomi regional. Hal ini terutama terjadi pada pertambangan batu bara dan aset pembangkit listrik, yang cenderung berada di luar wilayah perkotaan karena alasan geologis dan perencanaan. Jika tidak diatasi dengan baik, isu-isu ini berisiko meminggirkan masyarakat dan menyingkirkan transisi menuju ekonomi nol-karbon. Iterasi CAT ini mencakup perkiraan dampak pekerjaan langsung untuk setiap aset, tetapi tidak termasuk implikasi dari penutupan tambang batu bara yang mungkin diakibatkan oleh penutupan pembangkit. Kami berharap dapat mengembangkan poin data ini di masa mendatang.

Iterasi mendatang

Kami secara terbuka mengakui akan ada iterasi tambahan yang kami abaikan dalam iterasi awal CAT Tool. Iterasi pertama CAT hanya mencakup Indonesia, dengan rencana perluasan ke depannya menjangkau Tiongkok, India, Jepang, Korea, Filipina, dan Vietnam. Kami menyambut rekomendasi dari pihak ketiga tentang cara pengembangannya agar model ini lebih kokoh dan berdaya. Di bawah ini adalah daftar poin data tidak lengkap yang akan memungkinkan CAT Tool untuk maju melampaui alat pemeriksaan tingkat tinggi. Daftar ini mengidentifikasi poin data yang sudah termasuk dalam CAT, serta yang belum termasuk tetapi akan menambah nilai untuk iterasi mendatang. Daftar ini didasarkan pada pemahaman kami tentang kumpulan data yang tersedia untuk umum dan iterasi pertama CAT Tool.

Tabel 4. Poin data yang harus disertakan dalam setiap model penghentian yang komprehensif

| Kategori | Variabel Data | Tersedia untuk umum |
|-------------|---------------------------|---------------------|
| Inventaris | Lokasi | GCPT, GEM |
| | Kapasitas | GCPT, GEM |
| | Umur | GCPT, GEM |
| | Teknologi perebus | GCPT, GEM |
| | Tanggal mulai | GCPT, GEM |
| Operasional | Efisiensi | CAT, TransitionZero |
| | Pembangkitan | CAT, TransitionZero |
| | Faktor kapasitas | CAT, TransitionZero |
| Keuangan | Harga listrik | CAT, TransitionZero |
| | Harga batu bara | CAT, TransitionZero |
| | Investasi awal | CAT, TransitionZero |
| | Biaya pengendalian polusi | CAT, TransitionZero |

| | | |
|---------------|---------------------------------------|---------------------|
| | Nilai tidak terdepresiasi | CAT, TransitionZero |
| | Biaya penggantian | CAT, TransitionZero |
| | Laba kotor | CAT, TransitionZero |
| | Pembiayaan | CAT, TransitionZero |
| | Penghasilan pajak | Tidak |
| Kontrak | Kepemilikan | GCPT, GEM |
| | Offtaker | Tidak |
| | Tidak berlaku dalam ketentuan kontrak | Tidak |
| | Harga | CAT, TransitionZero |
| | Kontrak pasokan bahan bakar | Tidak |
| Infrastruktur | Infrastruktur transportasi | Tidak |
| | Infrastruktur T&D | Tidak |
| | Operasi penambangan batu bara | Tidak |
| Lingkungan | Intensitas karbon | CAT, TransitionZero |
| | Penggunaan air | CAT, TransitionZero |
| | Polusi udara | CAT, TransitionZero |
| Peraturan | Struktur pasar listrik | CAT, TransitionZero |
| Ekonomi | Dampak pekerjaan | CAT, TransitionZero |

Sumber: Analisis TransitionZero

Seperti dijelaskan di atas, satu kelemahan nyata iterasi pertama CAT Tool ini adalah ketidakmampuannya dalam memahami biaya sistem dan dampak yang terkait dengan penggantian pembangkit batu bara. Kami sedang mengembangkan model sistem energi yang disebut Future Energy Outlook (FEO). FEO dimaksudkan untuk memberikan wawasan kritis tentang pasar energi, kebijakan, dan masa depan sistem

energi global. FEO akan didasarkan pada data objektif, asumsi transparan, pemodelan sumber terbuka, dan analisis yang tidak memihak. FEO akan menggunakan pendekatan berbasis skenario dan metode ilmiah yang ketat untuk menggambarkan bagaimana sistem energi dapat berkembang selama beberapa dekade mendatang dan bagaimana hal itu dipengaruhi oleh variabel-variabel kunci, terutama kebijakan yang diadopsi oleh pemerintah di seluruh dunia. Tidak kalah pentingnya, FEO akan dipandu oleh tiga prinsip tingkat tinggi:

- Metodologi model transparan, asumsi, dan basis kode yang tersedia untuk direplikasi oleh pengguna
- Diinformasikan oleh kelompok pengarah yang beragam secara geografis dan diakui secara internasional untuk memastikan dukungan lokal
- Berdasarkan prinsip biaya terendah tanpa penyesuaian kebijakan, sehingga jalur ini dapat memperjelas biaya dekarbonisasi

FEO akan meningkatkan CAT Tool dengan memberikan wawasan tentang biaya sistem penuh dan kriteria penghentian tambahan di tingkat pembangkit.

Kesimpulan

Kami mengembangkan CAT Tool untuk membantu pengambil keputusan memeriksa pembangkit listrik tenaga batu bara untuk diganti dan/atau dipensiunkan untuk memenuhi sasaran 1,5 °C. CAT Tool bertujuan menjadi alat yang fleksibel agar memungkinkan pengambil keputusan memeriksa satu atau lebih kriteria, termasuk nilai finansial, keterjangkauan energi, serta eksternalitas udara, air dan iklim dan dampak pekerjaan. Harapan kami, CAT akan menjadi sumber daya yang berguna bagi pemangku kepentingan dan pengambil keputusan untuk memastikan pembangkit listrik batu bara diganti dengan cara yang paling efisien secara ekonomi dan adil secara sosial.

Referensi

Carbon Tracker (2019). Making it mainstream – CA100+ power utility profiles. [Tersedia](#).

Carbon Tracker (2018). Powering Down Coal: Navigating the economic and financial risks in the last years of coal power. [Tersedia](#).

Cui, R.Y., Hultman, N., Cui, D. et al. A plant-by-plant strategy for high-ambition coal power phaseout in China. Nat Commun 12, 1468 (2021). [Tersedia](#).

Global Energy Monitor (2021). Global Coal Plant Database. [Tersedia](#).

PLN (2021). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik. [Tersedia](#).

RMI (2021). Utility Transition Hub. [Tersedia](#).

Lampiran 1. Penyesuaian model khas Indonesia

Tarif PPA

Bagi Perusahaan Listrik Negara (PLN), sebagai BUMN, tarif PPA mengacu pada biaya tersirat pembangkitan pada saat aset-aset milik PLN mengirimkan listrik ke jaringan listrik.

Untuk Indonesia, kami telah membagi pasar berdasarkan lima jenis pembangkit: (1) Pembangkit milik PLN¹(mulut tambang); (2) pembangkit milik PLN; (3) pembangkit milik penyedia listrik independen (IPP) (mulut tambang); (4) pembangkit milik IPP, dan (5) pembangkit mandiri, yaitu pembangkit listrik yang dimiliki oleh industri untuk pembangkitan sendiri. Tabel 5 di bawah ini mencantumkan metodologi estimasi harga.

Tabel 5: Metodologi kami dalam memperkirakan tarif PPA di Indonesia

| | Metodologi | Harga PPA | Tahun operasi |
|----------------------|--|--|--|
| Pembangkit milik PLN | Tarif PPA yang dilaporkan | Berdasarkan tarif PPA yang dilaporkan di laporan media dll. | Sebelum 2020: 30 tahun Setelah 2020: 25 tahun |
| | Tarif PPA tidak diketahui (PLTU Batu Bara) | Berdasarkan laporan PLN mengenai biaya produksi, disesuaikan berdasarkan tahun operasi dan skala regional | |
| | Tarif PPA tidak diketahui (Mulut Tambang) | Berdasarkan laporan PLN mengenai biaya produksi, disesuaikan berdasarkan tahun operasi dan skala regional Lebih jauh sesuai dengan pembangkit mulut tambang lainnya | Sebelum 2020: 35 tahun Setelah 2020: 30 tahun |
| Pembangkit milik IPP | Tarif PPA yang dilaporkan | Berdasarkan tarif PPA yang dilaporkan di laporan media dll. | Sebelum 2020: 30 tahun Setelah 2020: 25 tahun |
| | Tarif PPA tidak diketahui (PLTU Batu Bara) | Diskon dari BPP*, disesuaikan menurut tahun operasi dan harga yang diketahui di kawasan ini | |
| | Tarif PPA tidak diketahui (Mulut Tambang) | Diskon dari BPP regional, disesuaikan menurut tahun operasi dan harga yang diketahui di kawasan ini Lebih jauh sesuai dengan pembangkit mulut tambang lainnya | Sebelum 2020: 35 tahun Setelah 2020: 30 tahun |
| Pembangkit mandiri | Harga PPA tidak diketahui | Diskon dari BPP regional, disesuaikan menurut tahun operasi dan harga yang diketahui di kawasan ini | Sebelum 2020: 30 tahun Setelah 2020: 25 tahun |

Sumber: TransitionZero

Catatan: BPP merujuk pada biaya produksi rata-rata regional.

Prinsip kunci yang mendasari metodologi kami adalah persamaan perlakuan antara aset yang dimiliki PLN dan IPP ketika memperkirakan biaya pensiun. Hal ini karena baik PLN maupun IPP perlu menarik kembali investasinya secara merata. Namun demikian, ada perbedaan dalam hal penanganan PPA, sehingga biaya untuk pensiun dini pembangkit batu bara lebih murah untuk pembangkit yang dimiliki oleh PLN dibandingkan dengan yang IPP.

Margin cadangan

Dalam kasus Indonesia, perkiraan margin cadangan di tingkat jaringan regional dan sub-regional diperoleh dari Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL 2021-2030), atau utilitas nasional, rencana bisnis 10 tahun PLN. Tabel 6 di bawah ini menunjukkan jaringan regional di Indonesia, serta kelompok sub-regional yang terkait.

Tabel 6. Jaringan regional dan perincian sub-regional

| Jaringan regional | Perincian sub-regional |
|-------------------|------------------------|
| Jawa-Bali | Jawa Tengah |
| | Jawa Barat |
| | Jawa Timur |
| | Banten |
| | Bali |
| Sumatra | Bangka-Belitung |
| | Bengkulu |
| | Aceh |
| | Sumatra Utara |
| | Lampung |
| | Sumatra Barat |
| | Riau |
| | Jambi |
| Kalimantan | Kalimantan Selatan |

| | |
|---------------------|---------------------|
| | Kalimantan Barat |
| | Kalimantan Tengah |
| | Kalimantan Timur |
| Sulbagsel | Sulawesi Selatan |
| | Sulawesi Tenggara |
| | Sulawesi Tengah |
| Sulbagut | Sulawesi Utara |
| | Gorontalo |
| Maluku | Maluku |
| Maluku Utara | Maluku Utara |
| Papua | Papua |
| Nusa Tenggara Barat | Nusa Tenggara Barat |

Sumber: TransitionZero

Catatan: Di kepulauan terpencil, termasuk wilayah Sulawesi, Maluku, Papua dan Nusa Tenggara, margin cadangan menggunakan estimasi karena adanya sejumlah pulau kecil dan jaringan kecil pulau yang terpisah.

Subsidi energi

Diskusi mengenai sektor tenaga di Indonesia tidak dapat diselesaikan tanpa membahas subsidi energi. Harga batu bara untuk pembangkit listrik saat ini dibatasi pada \$70/ton untuk pembangkit listrik. Hal ini berarti subsidi batu bara yang merupakan selisih antara harga pasar batu bara yang berlaku dan tingkat subsidi.

TransitionZero membuat perkiraan biaya subsidi bahan bakar menggunakan metodologi internal. Subsidi batu bara per ton batu bara merupakan selisih antara harga pasar acuan (harga HBA) yang dikeluarkan oleh ESDM, dan harga bahan bakar untuk setiap pembangkit. Kami menyesuaikan harga HBA dari 6322kcal/kg menjadi rata-rata 4200kcal/kg, untuk memperhitungkan perbedaan kualitas antara batu bara acuan dan kandungan energi batu bara yang dikonsumsi di pembangkit listrik Indonesia. Untuk mendapatkan total subsidi, kami memperkirakan konsumsi batu bara tahunan berdasarkan kandungan energi batu bara sebesar 4200 kkal/kg dan efisiensi termal rata-rata 35% di seluruh pembangkit batu bara Indonesia. Total subsidi batu bara kemudian akan menjadi subsidi batu bara per ton dikalikan dengan total konsumsi oleh pembangkit batu bara.