

SKENARIO SHELL

Sky

MENCAPAI TUJUAN
PARIS AGREEMENT



2050

2055

2060

2065

2070

2075

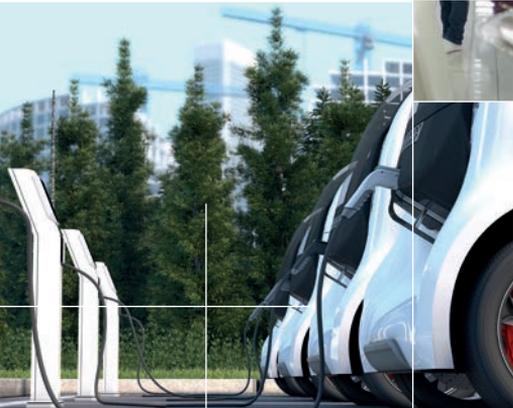
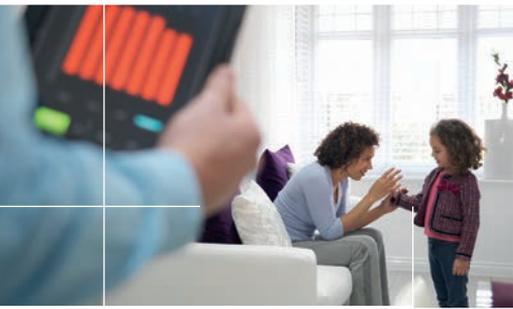
20





DAFTAR ISI

Bab 1	Jauh Di Bawah 2 °C: Ambisi Paris	3
Bab 2	Tantangan untuk Skenario Abad 21	11
Bab 3	Dari Mountains and Oceans kemudian Sky	19
Bab 4	Skenario Menuju Sukses – Sky	25
Bab 5	Transformasi Sektor	35
Bab 6	Mencapai Keseimbangan	53
Bab 7	Realisasi Ambisi Paris	63





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

BAGIAN 1
**JAUH DI BAWAH 2 °C:
AMBISI PARIS**

1. JAUH DI BAWAH 2 °C: AMBISI PARIS

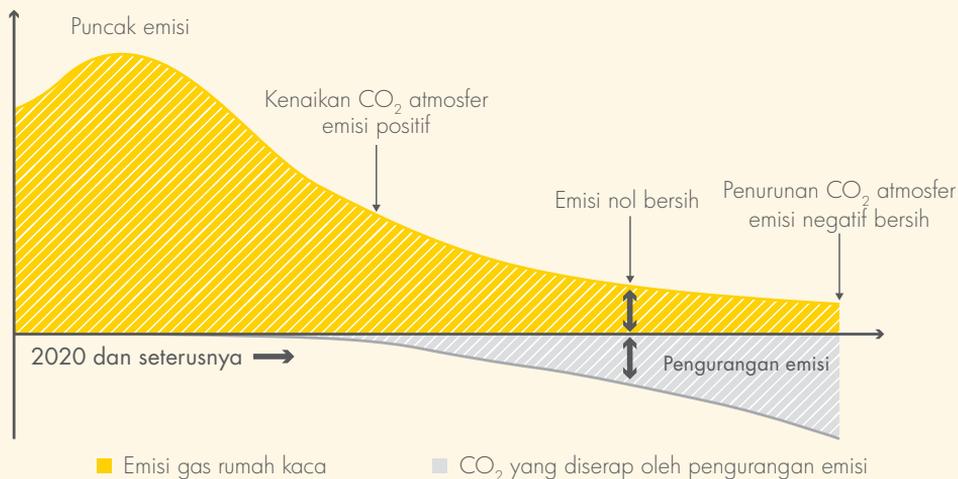
Paris Agreement, perjanjian mengenai perubahan iklim yang disepakati pada bulan Desember 2015 merupakan dokumen luar biasa. Hanya dalam 25 halaman, dokumen tersebut menawarkan cetak biru pragmatik untuk memecahkan salah satu masalah tersulit yang dihadapi masyarakat. Tujuan Perjanjian ini adalah menahan kenaikan suhu rata-rata global agar jauh di bawah 2 °C, di atas tingkat praindustri dan berupaya membatasi kenaikan suhu pada 1,5 °C di atas tingkat praindustri.

Untuk mencapai tujuan ini, Perjanjian ini menyerukan "keseimbangan antara emisi antropogen dari berbagai sumber dan buangan melalui pengurangan gas rumah kaca dalam paruh kedua abad ini." Perjanjian ini menekankan pada "keseimbangan" – atau yang juga disebut dengan "net-zero emissions" – yang menjadi perkembangan penting karena hal tersebut mengakui bahwa pemanasan suhu permukaan berkaitan

langsung dengan total kumulatif karbon dioksida (CO₂) yang dibuang ke atmosfer. Jika jumlah kumulatif emisi melewati ambang batas, mungkin diperlukan lebih dari net-zero emissions untuk mencapai emisi "negatif bersih", yakni kondisi ketika jumlah CO₂ yang diambil dari atmosfer lebih banyak daripada yang terus dilepaskan. Dalam hal ini, suhu permukaan rata-rata global bisa turun.

4

PARIS AGREEMENT MINGINKAN PUNCAK EMISI LEBIH DINI, KEMUDIAN MENURUN HINGGA NET-ZERO EMISSIONS SELAMA PARUH KEDUA ABAD INI



Sumber: Skematik Shell

Penerapan Perjanjian ini kini sedang berjalan. Hampir semua pemerintah negara merespon dengan cepat seruan untuk ratifikasi dan realisasi kontribusi nasional pertama. Beberapa koalisi baru juga telah terbentuk untuk penetapan harga karbon dan penghapusan batu bara bertahap yang dipimpin pemerintah, tetapi ini baru permulaan. Sukses diraih bukan hanya dengan harapan, namun juga upaya.

Konteks untuk arah ke depan

Publikasi kami pada tahun 2016, **A Better Life with a Healthy Planet**, memaparkan adanya keinginan sebagian besar populasi dunia untuk memiliki hidup lebih baik. Hal ini berarti permintaan energi akan naik di negara-negara yang relatif miskin bahkan ketika permintaan energi turun di negara-negara yang relatif kaya. Dalam konteks hidup yang lebih baik untuk semua masyarakat, kami menyoroti beberapa perubahan penting dalam setiap sektor utama perekonomian – industri, transportasi, bangunan, dan pembangkit listrik – yang diperlukan demi mewujudkan dunia dengan net-zero CO₂ emissions dari energi.

Walaupun secara umum kami memahami kondisi penting dan perubahan sistem energi yang diperlukan untuk net-zero emissions, akan lebih baik jika ada panduan arah untuk mencapai tujuan tersebut di tahun 2070, kurun waktu yang sesuai dengan upaya menahan kenaikan suhu rata-rata global agar jauh di bawah 2 °C. Karena masa depan tidak dapat diprediksi, khususnya dalam hal sistem kemasyarakatan global yang kompleks dalam kurun waktu lama yang melibatkan teknologi, kebijakan pemerintah, dan perilaku konsumen, maka pendekatan terbaik untuk menajaki arah atau jalan ini adalah dengan menggunakan beberapa skenario.

Skenario energi untuk arah ke depan

Skenario adalah cerita masa depan alternatif yang membantu kita memahami berbagai pelajaran berguna untuk masa sekarang. Skenario bukanlah proposal kebijakan – skenario tidak memperdebatkan apa yang seharusnya dilakukan. Bukan pula prakiraan – apa yang akan dilakukan, oleh masyarakat, industri, atau siapa pun. Skenario menawarkan deskripsi tentang hal-hal yang dapat dilakukan – arah yang masuk akal bagi masa depan sekaligus wawasan bermanfaat.

Selama lebih dari dua dekade, gagasan skenario Shell telah membahas isu-isu mengenai perubahan iklim, dengan beragam skenario yang menunjukkan berbagai tingkat keberhasilan dalam menangani isu global yang sangat penting ini. Namun, dengan menggunakan pandangan ke depan yang memiliki kerangka waktu selama 25 tahun pada 1990-an dan mencapai 50 tahun pada awal 2000-an, resolusi penuh masalah iklim melalui transformasi menyeluruh dari sistem energi global tidak pernah terlihat dengan jelas.



Pada skenario Sky, laju penurunan emisi global setelah 2035 melebihi laju pertumbuhan yang kita lihat selama abad ini. Ini pencapaian yang luar biasa.

Transformasi tersebut terus dan tetap menjadi perjalanan yang diukur selama beberapa generasi, yang kini telah sampai pada akhir abad ini.

Pada tahun 2013, Shell meluncurkan **New Lens Scenarios**, yang mencakup dua pandangan: **Mountains** dan **Oceans**.

Untuk pertama kalinya, skenario ini menghadirkan pemodelan sistem energi dengan rentang waktu hingga tahun 2100, yang memungkinkan transisi jangka panjang untuk dilihat secara keseluruhan. Sambil mendalami berbagai konteks sosiopolitik yang sangat berbeda, skenario-skenario ini menunjukkan bahwa aplikasi yang gigih dan luas dari kerangka kerja kebijakan bertarget CO₂, termasuk peralihan skala besar ke energi terbarukan dan penggunaan CCS (penangkapan dan penyimpanan karbon) yang ekstensif, akan mampu mewujudkan net-zero emissions dalam sistem energi. Akan tetapi, dalam dua skenario tadi, hasil tersebut dicapai pada sekitar

akhir abad ini. Artinya, skenario tersebut gagal mencapai tujuan suhu yang diharapkan pada Paris Agreement.

Melihat keluar Mountains dan Oceans

Dengan menarik pelajaran dari usaha sebelumnya dan analisis tambahan, kami menyajikan potensi panduan langkah dekarbonisasi perekonomian global dengan tujuan kemasyarakatan untuk mencapai net-zero emissions dari penggunaan energi di tahun 2070 – skenario yang disebut “**Sky**”.

Skenario **Sky** menyatakan bahwa perpanjangan sederhana dari upaya yang ada saat ini, baik berupa mandat efisiensi, pajak karbon sederhana, ataupun dukungan energi terbarukan, tidaklah cukup untuk skala perubahan yang diperlukan. Transformasi yang relevan dalam sistem energi dan sistem alam memerlukan tindakan kebijakan iklim serentak dan penerapan teknologi baru yang disruptif pada skala massal dalam lingkungan kebijakan

Memperkenalkan skenario Sky – skenario ambisius untuk menahan peningkatan suhu rata-rata global agar jauh di bawah 2 °C.

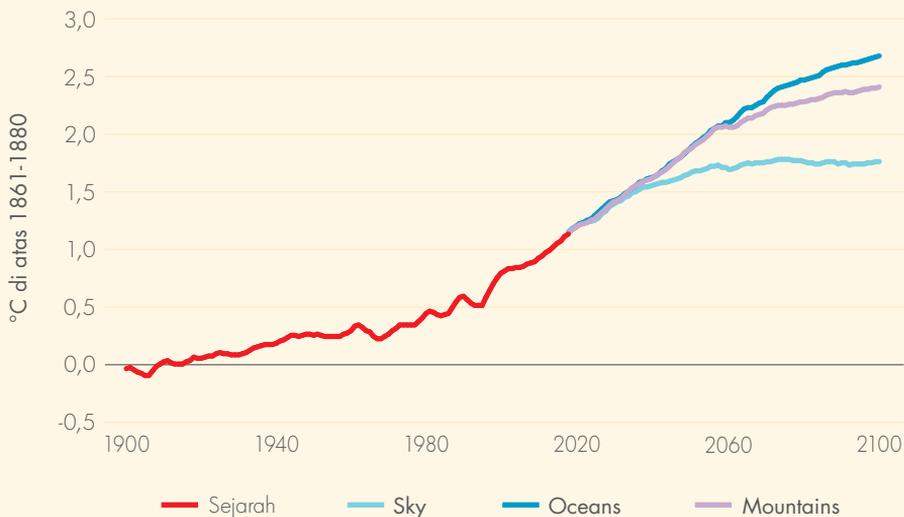
Hal ini memerlukan kombinasi kompleks dari faktor-faktor penggerak yang sama-sama memperkuat dan diakselerasikan dengan cepat oleh masyarakat, pasar, dan pemerintah.

Mulai sekarang hingga 2070 –

1. Perubahan dalam pola pikir konsumen berarti orang-orang lebih menyukai pilihan yang rendah karbon dengan efisiensi tinggi untuk memenuhi kebutuhan energi mereka.
2. Perubahan langkah dalam efisiensi energi yang digunakan menyebabkan hasil perolehan di atas tren historis.
3. Mekanisme penetapan harga karbon yang diadopsi oleh berbagai pemerintahan di seluruh dunia selepas 2020-an menyebabkan turunnya tingkat CO₂ pada barang dan jasa konsumen.
4. Tingkat elektrifikasi energi final meningkat lebih dari tiga kali lipat, dengan tingkat pembangkitan listrik global mencapai hampir lima kali tingkatan saat ini.
5. Beberapa sumber energi baru tumbuh 50 kali lipat; dengan energi utama dari energi terbarukan yang melemahkan bahan bakar fosil di tahun 2050-an.
6. Sekitar 10.000 fasilitas penangkapan dan penyimpanan karbon yang besar dibangun, jauh lebih banyak dibandingkan kurang dari 50 yang beroperasi pada tahun 2020.
7. Deforestasi nihil tercapai. Selain itu, area seluas Brasil yang sedang direboisasi menawarkan potensi pembatasan pemanasan hingga 1,5 °C, yang merupakan ambisi utama dari Paris Agreement.



PERBANDINGAN SKENARIO SHELL – KENAIKAN SUHU PERMUKAAN RATA-RATA GLOBAL



Catatan: Program Kerja Sama Sains dan Kebijakan Perubahan Global MIT telah menciptakan model dampak skenario **Sky** dibandingkan dengan dampak skenario **Mountains** dan **Oceans**. Semua seri berupa rata-rata-bergerak lima tahunan.

Sumber: MIT

pemerintah yang sangat mendorong investasi dan inovasi. Tidak ada faktor tunggal yang mampu mencapai transisi ini. Sebaliknya, Skenario **Sky** mengandalkan kombinasi kompleks dari faktor-faktor penggerak yang sama-sama memperkuat dan diakselerasikan dengan cepat oleh masyarakat, pasar, dan pemerintah.

Karena perubahan iklim muncul dari akumulasi total gas rumah kaca di atmosfer, ada banyak sekali kemungkinan arah atau langkah untuk pengurangan emisi tahunan selama beberapa dekade mendatang yang mampu memberikan hasil sejalan dengan ambisi Paris. Tentu saja, sebagian dari arah-arrah ini jauh lebih masuk akal daripada sebagian lainnya – perekonomian global tidak mungkin dapat ditata ulang dalam waktu semalam.

Skenario **Sky** dimulai dengan struktur sektor ekonomi dan kebijakan pemerintah

saat ini serta kapasitas untuk perubahan yang ada sekarang. Kemudian, skenario ini mengasumsikan pembangunan kapasitas yang sangat agresif tetapi masuk akal, dan pentahapan komitmen kebijakan melalui dua siklus peninjauan lima tahunan pertama yang tercantum dalam Paris Agreement. Di luar kurun waktu tersebut, tentu saja ada ketidakpastian yang lebih besar mengenai bagaimana kebijakan dan teknologi dapat dikembangkan dan diterapkan secara global. Oleh karena itu, skenario ini perlahan-lahan terdorong semata-mata oleh sasaran ambisius untuk mencapai emisi nol bersih di 2070, dengan perhitungan matang dalam karakteristik skala, substitusi teknologi, dan investasi di berbagai sektor perekonomian nasional. Skenario yang digerakkan oleh sasaran ini sesekali dianggap “normatif”. Dengan mengadopsi pendekatan



berlandaskan realitas terkini sistem energi yang kemudian dikombinasikan dengan sasaran spesifik jangka panjang, kami ingin skenario **Sky** menjadi skenario ambisius sekaligus alat yang realistis untuk pertimbangan praktis saat ini.

Selain itu, kami menerbitkan kumpulan data kuantitatif yang ekstensif untuk skenario **Sky** sehingga siapa pun dapat memeriksa dan memanfaatkan informasi ini secara luas.

Paris Agreement telah mengirimkan sinyal ke seluruh dunia; perubahan iklim adalah masalah serius dan pemerintahan negara-negara di dunia bertekad untuk mengatasinya. Pada 2070, ada kemungkinan munculnya sistem energi yang sangat berbeda. Hal ini bisa berupa sistem yang menghadirkan energi modern ke seluruh dunia tanpa membawa warisan iklim yang tidak dapat diadaptasi dengan cepat oleh masyarakat. Itulah inti dari skenario **Sky**.



2020

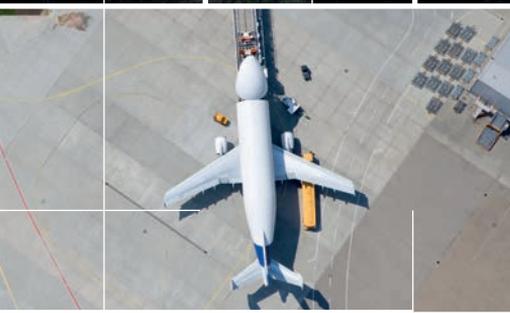
2025

2030

2035

2040

2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

BAGIAN 2
**TANTANGAN UNTUK SKENARIO
ABAD 21**

2. TANTANGAN UNTUK SKENARIO ABAD 21

Tantangan: Meningkatnya permintaan energi

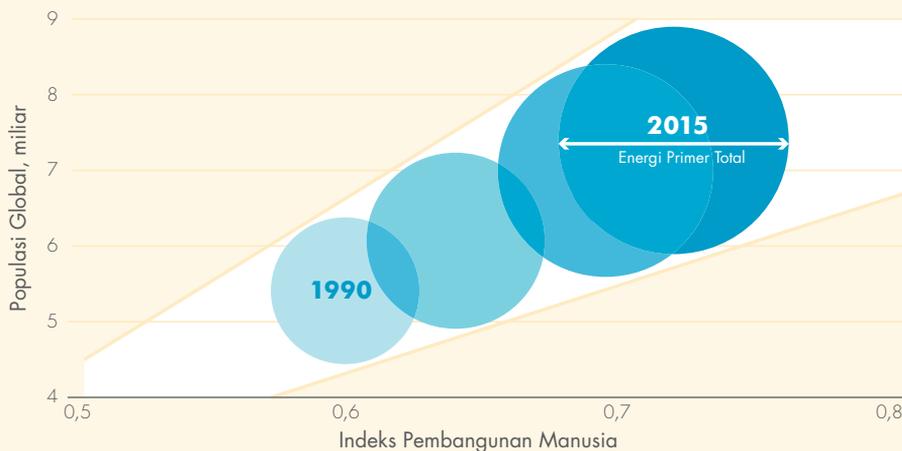
Energi memungkinkan keseluruhan perekonomian berfungsi. Energi dibutuhkan dan digunakan di mana-mana: di rumah, pabrik, toko, sekolah, transportasi pribadi, pengiriman barang, sanitasi, sistem air, pertanian, dan konstruksi. Energi merupakan kandungan penting tersembunyi dalam manufaktur dan menyediakan hampir semua produk dan jasa yang tidak disadari oleh masyarakat modern.

Sepanjang kurun abad 20, permintaan energi global meningkat 10 kali lipat karena populasi bertambah lebih dari 3 kali lipat, terjadi lonjakan pertumbuhan dan pembangunan ekonomi, peningkatan mobilitas menjadi hal biasa, dan berbagai macam penyediaan energi baru bermunculan, mulai dari alat pendingin pada awal abad hingga layanan data pada akhir abad. Namun, dalam konteks UN Sustainable Development Goals (Sasaran Pembangunan Berkelanjutan PBB), miliaran orang masih menginginkan hidup yang lebih baik seperti kemudahan akses air bersih yang sangat

dibutuhkan, sanitasi, nutrisi, perawatan kesehatan, dan pendidikan. Energi adalah kunci untuk mewujudkan segala kebutuhan dasar ini.

Dengan basis per kapita per tahun, rentang penggunaan energi primer saat ini adalah dari 20 gigajoule (GJ) di negara seperti Kenya, hingga sekitar 300 GJ di AS. Rata-rata global saat ini mencapai hampir 80 GJ, namun diharapkan mengalami kenaikan karena akses yang hampir universal ke penyediaan energi modern telah tercapai selama abad ini.

PERMINTAAN ENERGI DUNIA NAIK SEIRING POPULASI DAN PEMBANGUNAN



Penyediaan energi baru juga akan menjadi hal yang penting di abad 21, mulai dari pemanfaatan secara luas dari lingkungan artifisial tempat manusia tinggal dan bekerja dengan nyaman hingga triliunan perangkat yang terhubung dalam “Internet of Things” dimana semua hal terkoneksi ke internet. Sebagai contoh awal, koneksi yang dibuat melalui perjalanan internasional naik dua kali lipat dalam dua dekade pertama abad ini (diukur dari sisi kedatangan pesawat internasional). Pertumbuhan penduduk, pembangunan yang sangat dibutuhkan, penyediaan energi baru, dan meluasnya penggunaan layanan yang ada, semuanya akan berkontribusi pada pertumbuhan permintaan energi.

Tantangan: Efisiensi bisa memiliki konsekuensi tak diharapkan

Tanpa membatasi kesiapan penyediaan energi, pertumbuhan permintaan energi bisa berpotensi diperlambat melalui peningkatan cepat dalam efisiensi penyediaan tersebut. Meski tak bisa dihindari, hal ini bisa menjadi pedang bermata dua. Di satu sisi, peningkatan efisiensi menjadi salah satu mesin pertumbuhan ekonomi abad 20 karena biaya produksi dan konsumsi energi peralatan (seperti penyejuk udara) terus turun sepanjang dekade. Namun, di sisi lain, biaya yang lebih rendah ini juga menyebabkan peningkatan serapan oleh konsumen.



Tahun 2016, kepemilikan kendaraan di Amerika Utara dan Eropa bervariasi dari 500 hingga 800 per 1.000 orang. Tiongkok sebanyak 154 per 1.000 orang, India 42 per 1.000, dan sudah pasti akan bertambah.

Sebagai contoh, besarnya hasil efisiensi dalam hal penyediaan energi terbaru dapat dilihat pada penerangan; LED dengan cepat menggantikan lampu pijar, lampu halogen, dan lampu neon. Namun, sebagai akibatnya, terlihat jelas pertumbuhan layanan penerangan bahkan di kota-kota yang dianggap telah mencapai kejenuhan penerangan. Iklan diubah dengan LED, bergerak dari display jalan ke billboard raksasa.

Tantangan: Batu bara tetap populer

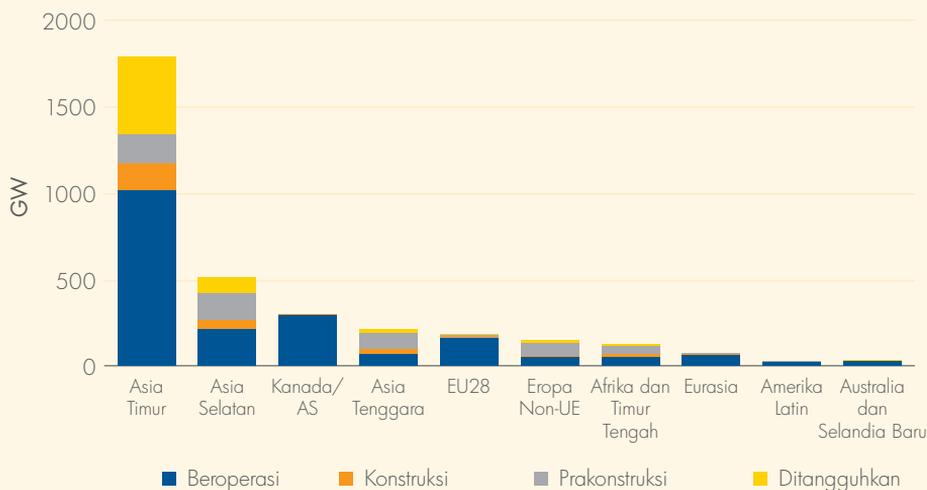
Pembatasan kenaikan CO₂ di atmosfer mengharuskan kita beralih dari bahan bakar fosil ke sumber energi lain serta memanfaatkan CCS. Namun, sumber energi baru harus dapat dikembangkan secara cepat guna memenuhi tingginya pertumbuhan permintaan sekaligus mengurangi sumber emisi yang ada dengan segera. Pertumbuhan permintaan yang tinggi secara terus menerus juga bisa mendesak harga energi, yang pada gilirannya dapat mendorong ekstraksi lebih jauh terhadap batu bara, minyak dan gas, serta mematahkan semangat transformasi atau modifikasi infrastruktur yang ada.

Walaupun dunia mulai bertindak, kemajuan substantif ke arah sasaran Paris akan menjadi tantangan, sebagian karena batu bara. Karena sumber daya terbarukan dan gas alam semakin mendominasi sektor energi di negara-negara maju, dan membantu menurunkan emisi, penggunaan batu bara meningkat di beberapa negara ekonomi akibat kebutuhan kapasitas pembangkit baru untuk pembangunan. Vietnam adalah salah satunya. Sejumlah pembangkit listrik tenaga uap batu bara (PLTU) besar sedang dalam tahap pembangunan di tahun 2018.

Realitas nyata dari awal abad ke-21 adalah kurangnya jalur pembangunan yang jelas untuk ekonomi berkembang yang tidak menggunakan batu bara. Batu bara adalah sumber daya yang relatif mudah didapat dan digunakan. Batu bara memerlukan sedikit teknologi untuk memulai tetapi



KAPASITAS PEMBANGKITAN LISTRIK BATUBARA



Catatan: Batu bara tetap populer. Proyek-proyek baru di luar Tiongkok bisa berpotensi melebihi proyek yang sedang dibangun di negara ini.

Sumber: Global Coal Plant Tracker, Januari 2017, endcoal.org

punya banyak keunggulan, termasuk untuk listrik, alat pemanas, industri, dan yang sangat penting: peleburan untuk membuat besi. Walaupun panel surya dan angin menawarkan listrik yang bersih dan terdistribusi sehingga menguntungkan rumah tangga, listrik sendiri saat ini tidak cukup untuk tingkatan urbanisasi dan industrialisasi yang cepat, termasuk pembangunan kota-kota dan manufaktur produk seperti mobil dan peralatan.

Tantangan: Sebagian komponen sistem energi “bandel”

Tidak semua negara ekonomi akan mencapai net-zero emissions pada waktu yang sama. UE atau Amerika Utara mungkin perlu mempertimbangkannya sebagai tujuan untuk tahun 2050-an, sebagian untuk mengimbangi negara-negara yang mencapai titik tersebut jauh lebih lambat di abad ini. Swedia sebagai salah satu negara progresif di kawasan progresif sudah mencanangkannya pada tahun 2045. Namun, net-zero emissions di hampir semua ekonomi industri di tahun 2050-an merupakan tantangan. Ketiadaan nyata dari solusi rendah

karbon untuk penerbangan, pelayaran, manufaktur semen, sebagian pengolahan bahan kimia, peleburan, manufaktur kaca, dan lain-lain yang menjadi sektor penting bagi ekonomi industri tidak akan condong dengan cepat ke emisi nol. Bahkan sektor tenaga listrik tetap memerlukan dukungan dari pembangkit listrik tenaga termal konvensional pada tahun 2050.

Tantangan: Sebagian teknologi “terhenti”

Beberapa teknologi yang menjanjikan kini terhenti. Hidrogen adalah salah satu contoh yang menonjol. Memasuki abad ini, hidrogen dipandang sebagai bahan bakar masa depan dalam transportasi darat, tetapi hidrogen justru disalip oleh pengembangan kendaraan listrik bertenaga baterai. Baru-baru ini, hidrogen diusulkan sebagai pertimbangan solusi untuk proses industri yang memerlukan panas tinggi, sektor metalurgi (dengan batu bara menjadi bahan pokoknya), alat pemanas rumah, dan transportasi udara dimana penyimpanan baterai sangat terbatas karena beratnya.

Sektor lain yang kemajuannya lebih lambat daripada antisipasi semula adalah teknologi bahan bakar nabati, yang berpotensi menyediakan bahan bakar yang esensial, berkepadatan energi tinggi, dan jejak karbon rendah bagi aplikasi transportasi tertentu. Produksi bahan bakar nabati juga bisa dikembangkan untuk mewujudkan emisi negatif, sebagaimana saat ini terlihat di AS, dimana CCS diaplikasikan pada pabrik bioetanol.

Tantangan: Transformasi sistem tidak dapat diperkirakan dan memerlukan waktu

Pembatasan pemanasan sesuai Paris Agreement berarti net-zero emissions harus tercapai di 2070, lebih dari 50 tahun mulai sekarang. Dalam konteks transisi energi, satu dekade hanyalah sekejap mata. Hanya segelintir transformasi besar yang terlihat dalam satu abad, walau tidak semua mengikuti arah yang diperkirakan.

Mobil listrik menjadi pilihan yang disukai di jalanan Amerika memasuki abad 20, tetapi menjelang 1920, dunia berada di tengah-tengah era mesin pembakaran Ford Model T. Esensi teknologi umumnya tetap sama setelah produksi empat miliar mobil, tetapi mobilitas listrik kembali populer.

Bahkan, listrik yang terus mengubah dunia kita belum menjadi teknologi energi yang berubah cepat. Jaringan listrik pertama hadir di New York bulan September 1882, lebih dari 135 tahun yang lalu. Walaupun teknologi ini telah menyebar ke seluruh dunia dan merata di mana-mana, listrik menempati porsi kurang dari 20% dari penggunaan energi final yang digunakan saat ini. Jadi, 80% dari energi yang kita gunakan sekarang bukan listrik melainkan energi fosil dan hidrokarbon bioenergi. Selama kurun beberapa dekade terakhir, elektrifikasi energi final bergerak relatif lambat, sekitar 2%-poin per dekade – mis. sekitar 17% pada tahun 2005 dan 19% pada tahun 2015.

Menjelang 1960-an, revolusi tenaga nuklir terlihat memungkinkan, tetapi berhenti total menjelang 1990-an. Demikian pula, pada tahun 1960-an, panel surya mulai muncul dalam aplikasi yang sangat spesialis, tetapi panel surya perlu waktu 50 tahun untuk melewati 1% dari produksi listrik global.





Efek fotovoltaik (PV) ditemukan tahun 1839, yang pada akhirnya digunakan pada satelit sebagai panel surya mulai 1962. Empat dekade kemudian, hanya ada kapasitas dua GW di dunia, tetapi jumlah ini meningkat 200 kali lipat dalam lima belas tahun berikutnya.



17

20

Satu alasan transformasi sistem perlu waktu adalah karena keberhasilan satu transformasi – misalnya dari kuda ke mesin pembakaran internasional – bisa menghambat kemajuan berikutnya. Kesuksesan suatu pengembangan berpotensi mengunci sumber daya yang digunakan untuk membangun sistem saat ini. Potensi penguncian ini bersumber dari resistansi terhadap kemacetan investasi modal asli dan hilangnya pekerjaan yang ditimbulkan.

Tantangan: Dengan tenggat waktu di 2070, tidak boleh ada kesalahan

Mencapai emisi nol bersih dalam waktu 50 tahun tidak memberikan tempat untuk interupsi, pelambatan teknologi, penundaan implementasi, kebimbangan kebijakan, atau kemunduran nasional. Di sisi lain, diperlukan akselerasi pesat dalam semua aspek transisi energi, khususnya kerangka kerja kebijakan sangat kuat yang menargetkan emisi. Keberhasilan hanya bisa dicapai melalui proses luas yang didukung oleh masyarakat, diarahkan oleh pemerintah, dan sesekali dikoordinasikan oleh organisasi, termasuk UNFCCC, UE, ASEAN, dan lainnya.



2020

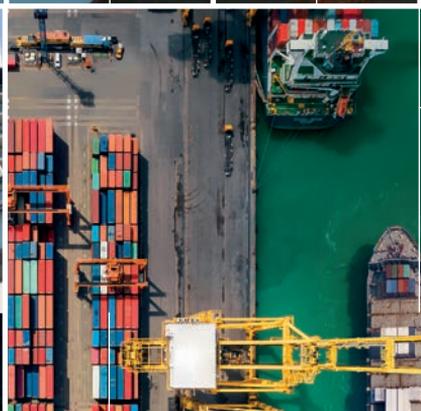
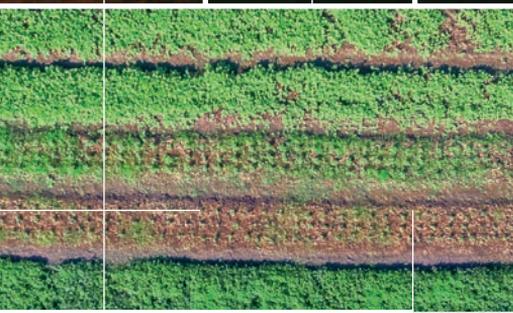
2025

2030

2035

2040

2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

BAGIAN 3
**DARI MOUNTAINS AND OCEANS
KEMUDIAN SKY**

3. DARI MOUNTAINS AND OCEANS KEMUDIAN SKY

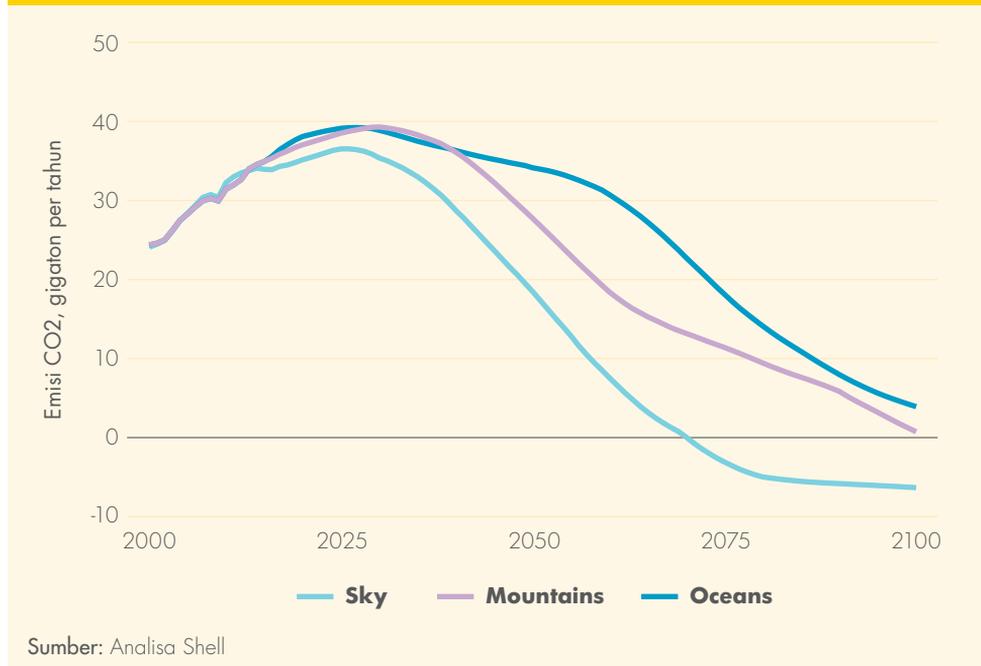
Dalam New Lens Scenario awal, kami mendalami dua kemungkinan cara untuk membuka abad 21, mengambil sejumlah tren dan masalah global yang mendesak dan menggungkannya sebagai “lensa” untuk memandang dunia.

Mountains dan **Oceans** menawarkan analisis detail terhadap tren sosiopolitik saat ini dan lintasan yang memungkinkan ke masa depan. Skenario **Mountains** condong pada arahan pemerintah dengan pendekatan dari atas ke bawah, sedangkan skenario **Oceans** condong pada pendekatan dari bawah ke atas dengan hasil yang dikendalikan pasar.

Skenario **Sky** lebih mengedepankan kemungkinan munculnya kolaborasi multi-lateral yang lebih baik untuk menangani masalah iklim dan kualitas udara. Skenario ini menggabungkan elemen-elemen paling

progresif dari **Mountains** dan **Oceans**. Pendekatan kolaboratif ini telah terlihat dalam beberapa perwujudan di masa lampau, seperti di Protokol Montreal mengenai zat perusak ozon, tetapi kerja sama internasional jangka panjang sesungguhnya dan kesediaan untuk menggabungkan kepentingan bangsa sendiri dengan kepentingan bangsa lain yang berbeda umumnya telah menghindari masyarakat sebagai kecenderungan yang kekal. Meskipun demikian, Paris Agreement dibangun berdasarkan model itu, dengan unsur tinjauan pengawasan dan tantangan yang kuat.

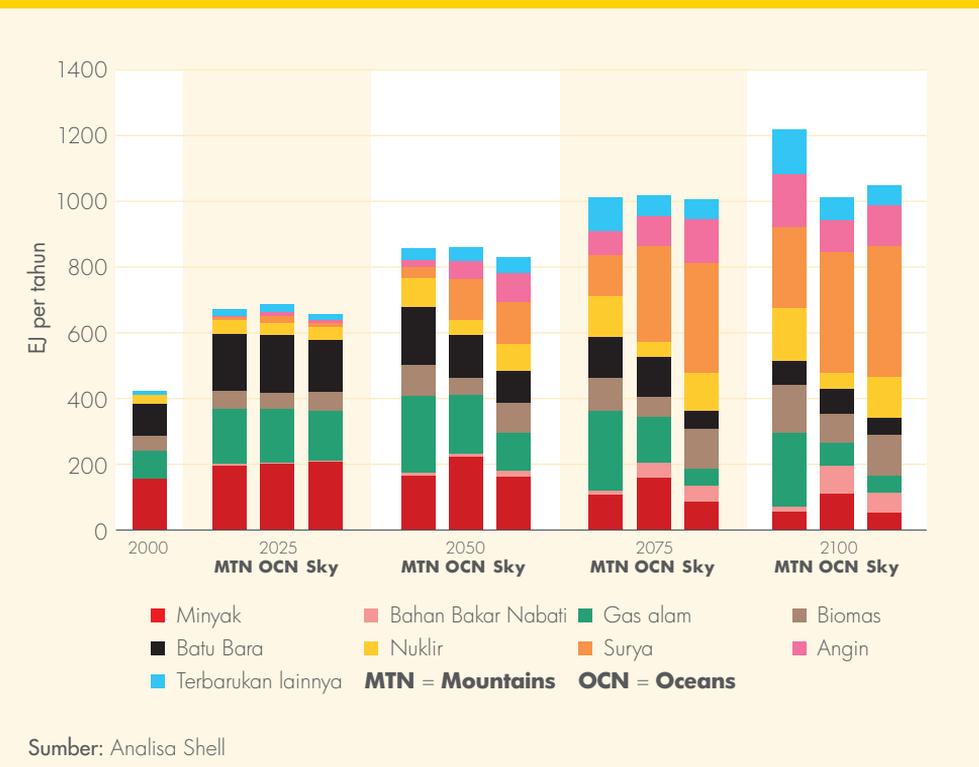
PERBANDINGAN SKENARIO SHELL – EMISI CO₂ YANG BERKAITAN DENGAN ENERGI DUNIA

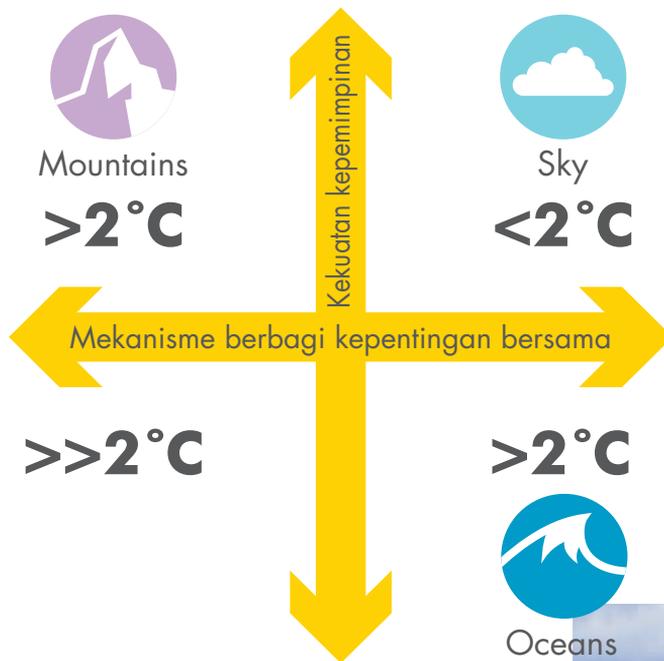


Kepemimpinan untuk menciptakan visi bersama merupakan unsur mendasar dari Paris Agreement, sebagaimana ditunjukkan melalui perjanjian bilateral di antara sejumlah kepala pemerintahan dalam dua tahun sebelum negosiasi final. Aliansi seperti Alliance of Small Island States (AOSIS) juga mendengarkan dan merespons dampak paling berisiko dari perubahan iklim dengan berfokus terhadap tingginya kenaikan permukaan laut. Menanggapi kekhawatiran ini, sebuah "koalisi ambisi kuat" lahir di Paris dan bertanggung jawab atas penggabungan perpanjangan tujuan dalam Paris Agreement untuk membatasi pemanasan pada 1,5 °C.

Pengembangan ini memperkenalkan gagasan kerangka kerja untuk menangani berbagai masalah global yang di dalamnya terdapat berbagai skenario yang mungkin bisa diterapkan. Kerangka kerja tersebut tidak hanya bergantung pada tren seperti perubahan teknologi, yang menonjol berkat akselerasinya yang (sangat) tinggi dalam hampir semua cerita abad 21, melainkan lahir dari kepentingan sendiri jangka panjang dan cara masyarakat menyimak dan bereaksi terhadap masalah sehari-hari.

ENERGI PRIMER MENURUT SUMBER DALAM TIGA SKENARIO





Skenario **Sky** membutuhkan kepemimpinan dan koalisi yang muncul dari semua sektor masyarakat. Masalah perubahan iklim adalah masalah global bersama yang membutuhkan solusi yang berkaitan dengan kompleksitas berbagai kepentingan publik dan pribadi.

Skenario **Oceans** membayangkan suatu dunia yang di dalamnya terdapat pengaruh menjangkau luas dan jauh, kekuasaan dilimpahkan, kepentingan yang bersaing diakomodasi, dan perdagangan menjadi yang utama. Kepemimpinan tidak kuat, tetapi pengakuan yang meningkat secara bertahap dari kepentingan bersama adalah ciri dari perdagangan. Potensi ekonomi terwujud berkat penggunaan teknologi dan peningkatan efisiensi yang digerakkan oleh mesin perdagangan.

Sebaliknya, skenario **Mountains** adalah suatu dunia dengan kekuasaan status quo yang terkunci dari dalam dan digenggam erat oleh mereka yang sudah berpengaruh. Stabilitas sangat dihargai, dan kepentingan bersama yang kuat untuk membuka sumber daya terus-menerus dan diawasi, tidak semata-mata didikte oleh kekuatan pasar langsung. Pertumbuhan ekonomi agak moderat, tetapi kewenangan terpusat menawarkan prospek transformasi kota, revolusi moda transportasi, dan penggunaan CCS yang luas – fitur yang penting untuk membatasi emisi keseluruhan.

MOUNTAINS, OCEANS AND SKY: **APA PERBEDAAN DARI SEMUA PENDEKATAN INI?**

Pemodelan dan pengembangan skenario **Sky** berbeda dengan metodologi yang diterapkan dalam usaha skenario Shell terdahulu, misalnya untuk **Mountains** dan **Oceans**. Pemodelan ini juga berbeda dari pendekatan yang diambil oleh sebagian besar organisasi energi yang telah mengembangkan beberapa skenario 2 °C.

Mountains dan **Oceans** sama-sama diawali dengan serangkaian lokakarya yang bertujuan untuk mengenali kecenderungan masyarakat utama yang berpotensi membentuk gambaran abad 21. Dari usaha tersebut, muncul alur cerita naratif yang membentuk basis kedua skenario. Alur cerita ini kemudian diuji melalui pemodelan energi untuk mempelajari sepenuhnya kecenderungan di setiap skenario sistem energi. Pemodelan itu memasukkan umpan balik dan pemeriksaan, agar lahir skenario yang konsisten dan kredibel; narasi dan angka energi seiring dan sejalan. Skenario-skenario ini bersifat terbuka dan bukan mengejar sasaran, maka hasil seperti pemanasan sistem iklim yang timbul dari realpolitik skenario dan pilihan energi dibuat sebagai hasilnya.

Sebaliknya, skenario 2 °C yang sempit menetapkan tingkat pemanasan itu sebagai target awal, tanpa memandang kondisi politik dan sosial yang berlaku pada saat apa pun. Sebagai hasilnya, dibuatlah arah dan alur cerita energi. Keduanya mungkin sulit diterima

untuk memenuhi batas yang ditetapkan pada pemanasan. Pendekatan terhadap pengembangan skenario ini dianggap "normatif".

Seperti yang tertulis pada pendahuluan, skenario **Sky** menggunakan pendekatan hibrid yang ditujukan untuk kemanfaatan masyarakat yang akan mengambil keputusan saat ini. Mulai 2018 hingga sekitar 2030, ada pengakuan jelas bahwa potensi perubahan jangka pendek yang drastis dalam sistem energi adalah terbatas, mengingat modal dasar di seluruh bidang perekonomian dan teknologi yang tersedia, bahkan jika diperkenalkan kebijakan baru yang agresif. Namun, periode ini juga dianggap menyertakan pengembangan kapasitas yang signifikan dan pengurangan ongkos teknologi, selepas dua siklus NDC (Kontribusi Tetap Nasional) lima tahunan dari Paris Agreement, agar setelah 2030, penerapan ini bisa berlanjut dengan kecepatan tinggi untuk memastikan hasilnya jauh di bawah 2 °C.



2020

2025

2030

2035

2040

2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

2080

BAGIAN 4

SKENARIO MENUJU SUKSES – SKY

4. SKENARIO MENUJU SUKSES – SKY

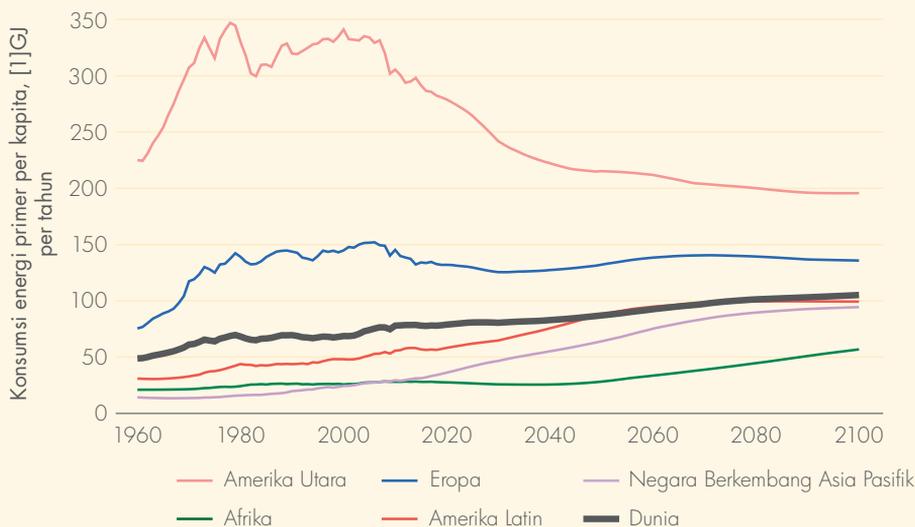
Skenario **Sky** dimulai dengan tindakan yang diambil dalam dekade pertama Paris Agreement. Di skenario **Sky**, pemerintah merespons positif terhadap siklus cepat dari penilaian, peninjauan, dan peningkatan kontribusi nasional, sebagaimana ditetapkan dalam Paris Agreement. Sebelum inventarisasi 2023, ada banyak penyerahan ulang kontribusi nasional dengan perubahan penting atas janji penurunan emisi oleh Tiongkok. Di skenario **Sky**, sebelum inventarisasi 2028, semua kontribusi telah meningkat sepenuhnya. India sedang mengindikasikan tingkat stabil emisi pada tahun 2030-an.

Selama 2020-an di skenario **Sky**, kemajuan pengurangan emisi relatif lambat selama pengembangan kapasitas. Namun, awal 2030, kecepatan transformasi sangat tinggi karena tantangan keberlanjutan utama abad 21 mulai terpenuhi.

Di skenario **Sky**, populasi global tumbuh dari 7,5 miliar pada tahun 2017 menjadi 10 miliar menjelang 2070, setelah itu stabil. Permintaan energi juga naik sepanjang abad ini, yang mendekati tingkat stabil mulai 2080. Yang penting, penggunaan per kapita relatif tetap rendah di skenario **Sky** karena hasil efisiensi yang belum pernah terjadi

Sukses: Energi untuk semua

HIDUP LEBIH BAIK UNTUK SEMUA ORANG



Catatan: Hari Ini, Hidup lebih baik untuk semua orang bisa dicapai untuk rata-rata 100 GJ per kapita. Nanti dalam abad ini, hasil efisiensi berarti hidup lebih baik bisa dicapai pada angka yang masih lebih rendah.

Sumber: Analisa Shell, IEA (data historis)

untuk penyediaan energi – terlihat efisiensi naik kurang lebih tiga kali lipat selama abad ini. Akibatnya, permintaan energi primer per kapita menumpuk mendekati 100 GJ per tahun – jauh di bawah angka yang terlihat saat ini dalam perekonomian industri. Walau demikian, diperlukan suatu tingkatan yang memberikan beragam penyediaan energi bagi hidup yang lebih baik. Sebagai rujukan, kulkas hemat energi modern akan menghabiskan lebih dari satu GJ per tahun.

Dengan populasi global 10 miliar pada akhir abad ini dan kenaikan penggunaan energi per kapita, sistem energi di skenario **Sky** naik sekitar dua kali ukurannya pada tahun 2010.

Sukses: Menangani batu bara

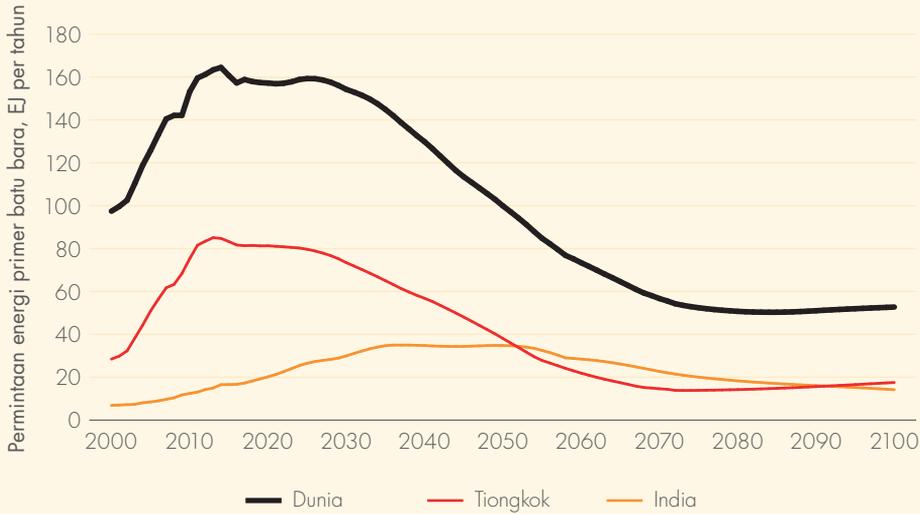
Pada COP23 tahun 2017, 25 negara dan negara bagian membentuk Powering Past Coal Alliance, yang berjanji untuk menghapuskan secara bertahap tenaga batu bara tradisional yang ada dalam yurisdiksi mereka. Dalam beberapa tahun berikutnya, di skenario **Sky**, sejumlah besar negara lain bergabung dengan Aliansi ini. Hasilnya, batu bara untuk pembangkit listrik akan dikurangi di semua belahan dunia. Di Vietnam dan bahkan di India, batu bara baru untuk pembangkit listrik berakhir menjelang 2030. Menjelang 2030-an, tenaga surya dan angin tambahan memenuhi semua permintaan listrik secara bertahap.

Tekanan Tiongkok untuk mempercepat penghapusan bertahap batu bara di skenario **Sky** berarti puncak permintaan batu bara global sekarang sudah berada di



Di skenario **Sky**, puncak emisi CO₂ mutlak menjelang 2040 terjadi di India, yang pada waktu itu merupakan negara paling padat penduduknya di Bumi.

PUNCAK PENGGUNAAN BATU BARA SUDAH KITA LEWATI DI SKENARIO **SKY; TOTAL KONSUMSI TURUN DRASTIS MULAI AWAL 2030-an DAN SETERUSNYA**



Sumber: Analisa Shell, IEA (data historis)

belakang kita, dengan penurunan drastis di depan, walaupun batu bara tetap penting di beberapa negara Asia dan batu bara metalurgi tetap menjadi bahan yang krusial bagi peleburan. Menjelang 2070, porsi batu bara pada energi primer global turun sekitar 6%, turun dari 25% di tahun 2020.

Sukses: Transformasi teknologi yang membandel dan mandek

Dalam dekade pertama setelah Paris Agreement, emisi CO₂ sistem energi sebagian besar terkunci oleh teknologi yang ada, modal saham, dan resistansi masyarakat terhadap perubahan. Namun, menjelang 2030 di skenario **Sky**, sistem ini terbuka, dipicu pada tahun 2020-an oleh kemajuan signifikan dalam teknologi energi dan skala manufaktur yang menyebabkan turunnya harga untuk konsumen dan bisnis. Hal ini difasilitasi oleh intervensi pemerintah yang telah ditargetkan dalam riset dan pengembangan serta fase komersialisasi dini yang penting, dengan hasil besar dalam teknologi penyimpanan baterai, CCS, serta bahan bakar nabati lanjutan.

Sukses: Pemerintah mempercepat langkah

Dalam skenario **Sky**, pemerintah di seluruh dunia mengimplementasikan kerangka kerja legislatif untuk mendorong efisiensi dan mengurangi emisi CO₂ dengan cepat, baik dengan menyingkirkan teknologi energi lama dan dengan mendorong orang berlomba-lomba menerapkan teknologi baru jika telah mencapai efektivitas biaya.

Misalnya, di tingkat nasional dan daerah, pemerintah mempercepat transisi energi dengan mengadaptasi pasar tenaga listrik dengan teknologi terbarukan yang baru serta menetapkan harga yang lumayan atau batasan atas emisi karbon dari pembangkit listrik tenaga termal konvensional. Perundang-undangan di banyak yurisdiksi memaksa jaringan listrik ke arah 100% energi terbarukan menjelang 2040-an.

Peralatan, bangunan komersial dan tempat tinggal, serta transportasi pribadi, semuanya ditargetkan dengan standar efisiensi atau standar emisi yang agresif. Pembentukan zona rendah emisi oleh otoritas kota memaksa kendaraan tua menyingkir dari jalan raya.

BIAYA BATERAI TURUN SANGAT CEPAT DI SKENARIO SKY, SEBAGIAN KARENA PENDANAAN TEKNOLOGI BARU OLEH PEMERINTAH



Sumber: Analisa Shell. Bloomberg New Energy Finance (data historis)

Di banyak kota, kendaraan listrik menjadi pengganti alami karena kepraktisannya dan banyaknya tersedia tempat pengisian daya. Program tukar-rongsokan (scrappage) mempercepat penggantian perlengkapan yang sudah ketinggalan zaman dan kurang efisien di perumahan dan perkantoran. Namun, tindakan bertarget emisi paling signifikan yang diambil oleh pemerintah di seluruh dunia adalah adopsi mekanisme penetapan harga karbon yang efektif, baik secara eksplisit maupun implisit.

Sejak Paris Agreement, pendekatan penetapan harga karbon arahan pemerintah telah mendapatkan daya tarik. Pada OnePlanet Summit 2017, sejumlah

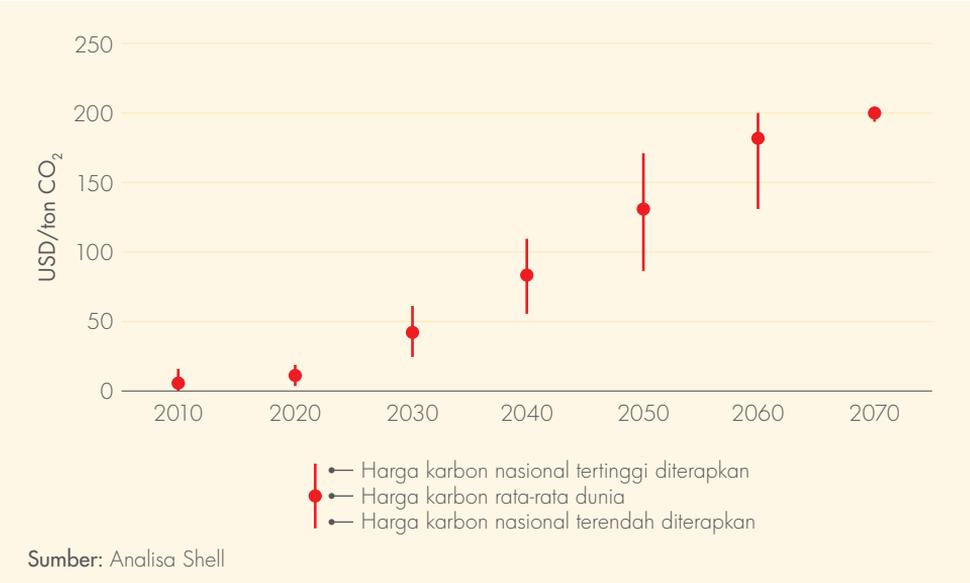
negara dan negara bagian di Amerika berkomitmen untuk memperluas penggunaan mereka atas mekanisme ini. Di tahun yang sama, Tiongkok mengumumkan peluncuran sistem perdagangan emisi tingkat nasionalnya, yang dimulai dengan sektor ketenagalistrikan. Dan menjelang awal 2018, California, Quebec, dan Ontario beroperasi berdasarkan sistem perdagangan emisi terkait.



Di skenario Sky, panel surya mempertahankan laju pertumbuhan rata-rata yang kuat sebesar 20% per tahun, melebihi kapasitas terpasang 6.500 GW menjelang 2035. Ini meliputi area seluas 100.000 km², setara dengan ukuran luas Korea Selatan. Dari situ hingga 2070, hampir 1.000 GW akan bertambah setiap tahun; luas panel surya secara global mendekati area seluas Spanyol.



PEMERINTAH DI SELURUH DUNIA DENGAN CEPAT MENGADOPSI MEKANISME PENETAPAN HARGA KARBON PADA TAHUN 2020-an; HARMONISASI LENGKAP TERCAPAI MENJELANG 2070



Penetapan harga karbon yang diarahkan pemerintah muncul di skenario **Sky** sebagai seperangkat pajak, pungutan, dan mekanisme pasar. Tak disangka, tercapailah suatu pemahaman yang sama antar pemerintah dalam hal tingkat biaya emisi yang sesuai.

Menjelang 2030 di skenario **Sky**, penetapan harga karbon arahan pemerintah diterapkan kokoh di seluruh OECD dan Tiongkok, sedangkan Rusia dan India membentuk gelombang kedua dari peserta pasar karbon. Implementasi global penentuan harga karbon oleh pemerintah tuntas menjelang akhir 2030-an. Selanjutnya, semua sistem mencapai batas yang kredibel untuk mencegah emisi.

Di skenario **Sky**, penetapan harga karbon memiliki dua konsekuensi penting lainnya. Pertama, mempercepat adopsi CCS untuk emiter besar sembari mendorong penerapan teknologi negatif murni seperti bioenergi dengan CCS.

Kedua, penetapan harga karbon mendorong pengurangan emisi di seluruh bagian

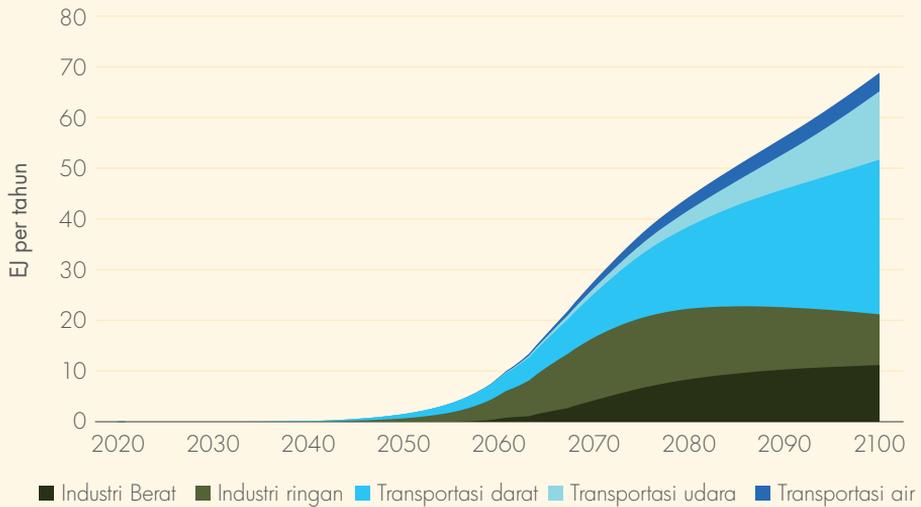
perekonomian, terutama melalui peningkatan efisiensi energi, sehingga menghasilkan perubahan drastis pada perilaku konsumen dan produsen.

Sukses: Lahir sistem energi baru

Di skenario **Sky**, sistem elektrolisis hidrogen secara onshore dan offshore juga mulai muncul di seluruh dunia. Mula-mula mereka menggunakan surplus listrik tak-terpakai yang terus meningkat dari sumber terbarukan, tetapi kemudian menjadi sistem beban-dasar terintegrasi penuh. Akibatnya, setelah 2040, hidrogen muncul sebagai pengangkut energi materiel, yang terus tumbuh hingga menempati porsi 10% dari konsumsi energi final global pada akhir abad.

Karena penggunaan gas dan minyak turun dari waktu ke waktu di skenario **Sky**, fasilitas yang menganggur dimanfaatkan kembali untuk penyimpanan dan pengangkutan gas hidrogen. Meningkatnya pasokan LNG di beberapa dekade awal abad ini jelas memungkinkan hidrogen mendapatkan tempat dan berkembang. Pembangunan jaringan

DI SKENARIO **SKY**, HIDROGEN MUNCUL SEBAGAI PENGANGKUT ENERGI MATERIEL SETELAH 2040, TERUTAMA UNTUK INDUSTRI DAN TRANSPORTASI



Catatan: Menjelang 2100, hidrogen memasok 1/4 permintaan energi transportasi dan lebih dari 10% energi industri

Sumber: Analisa Shell



Hidrogen tumbuh sebagai pengangkut energi mulai 2040 di skenario Sky, dengan kapasitas global 800 juta ton per tahun menjelang 2070 – lebih dari dua kali pasar LPG global.



listrik dan saluran pipa hidrogen yang masif memastikan pasokan listrik dan hidrogen aman dan terjangkau, yang mendorong peralihan di seluruh sektor, terutama dalam transportasi dan industri.

Walaupun sektor penerbangan dan pelayaran terus mengandalkan minyak mentah selama beberapa dekade pertama skenario **Sky**, bahan bakar sintetis dari biomas perlahan-lahan mengambil pangsa pasar. Skenario **Sky** mengasumsikan bentuknya berupa bahan bakar nabati cair mengingat fleksibilitas yang tinggi, tetapi jika konversi ke metana terbukti lebih berhasil, bentuknya bisa juga biogas dimampatkan atau dicairkan untuk penggunaan pada transportasi air,

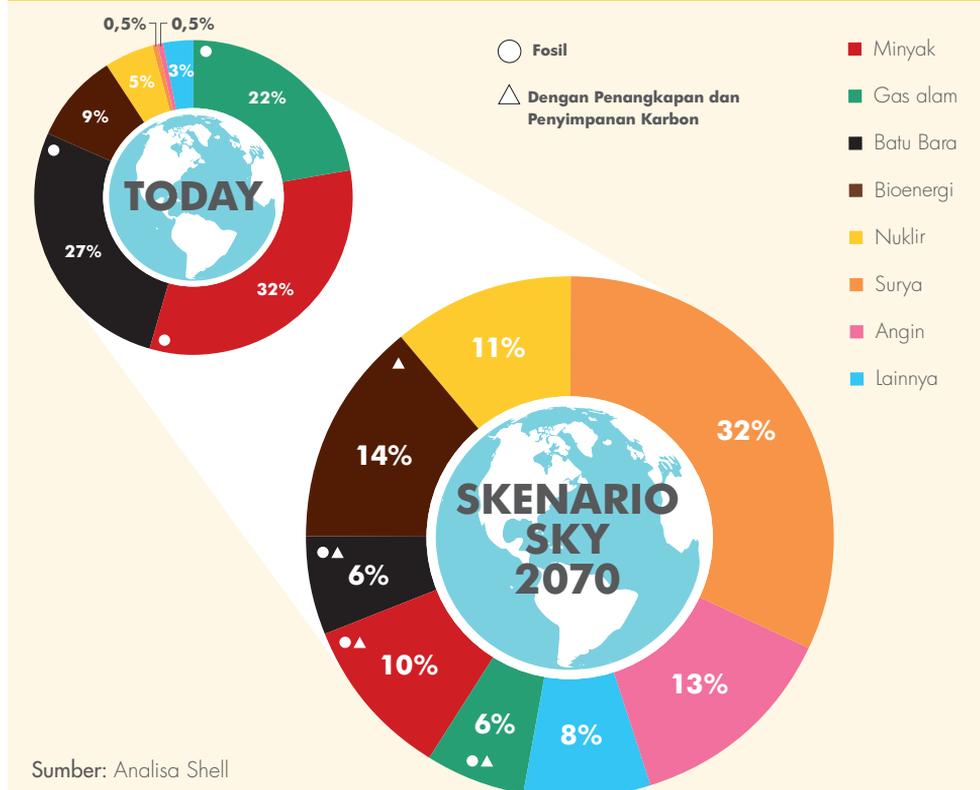
rel, dan darat. Di tahapan lebih lanjut dari transisi ini, hidrogen muncul sebagai pengangkut energi baru, terutama pada sektor penerbangan.

Sukses: Paris berhasil

Di skenario **Sky**, Paris Agreement yang digerakkan oleh implementasi pemerintah berupa kebijakan energi bertarget di setiap tingkatan selaras dengan tindakan agresif di seluruh bagian perekonomian global, termasuk sektor energi, berhasil.

Tindakan ini dan yang serupa banyak muncul dengan pesat. Mula-mula, kepemimpinan pemerintah bertanggung jawab terhadap kecepatan perubahan, tetapi lambat-laun,

DI DUNIA NET-ZERO EMISSIONS PADA TAHUN 2070, TENAGA SURYA, BIOENERGI, DAN ANGIN MENDOMINASI PASOKAN ENERGI TERBARUKAN SEMENTARA MINYAK TETAP MENJADI SUMBER ENERGI FOSIL TERBESAR

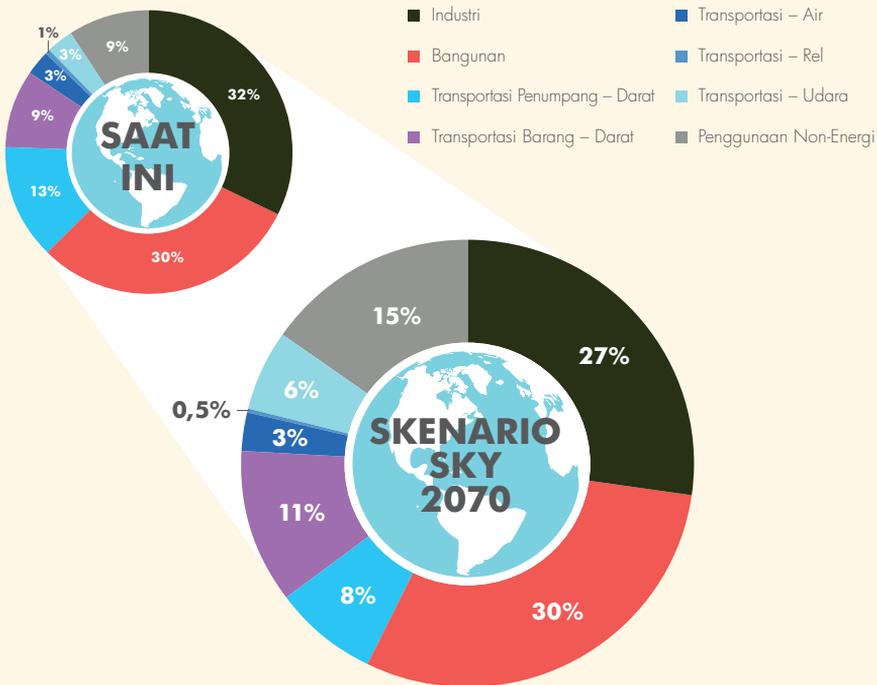


tekanan dari sesama pemerintah memberikan dorongan sebagai respons terhadap kerangka kerja transparansi yang ditanamkan dalam Paris Agreement. Teknologi baru dengan sendirinya kian bersaing biaya seiring bertambahnya penerapan massal. Mekanisme bertahap lima tahun berhasil di skenario **Sky**.

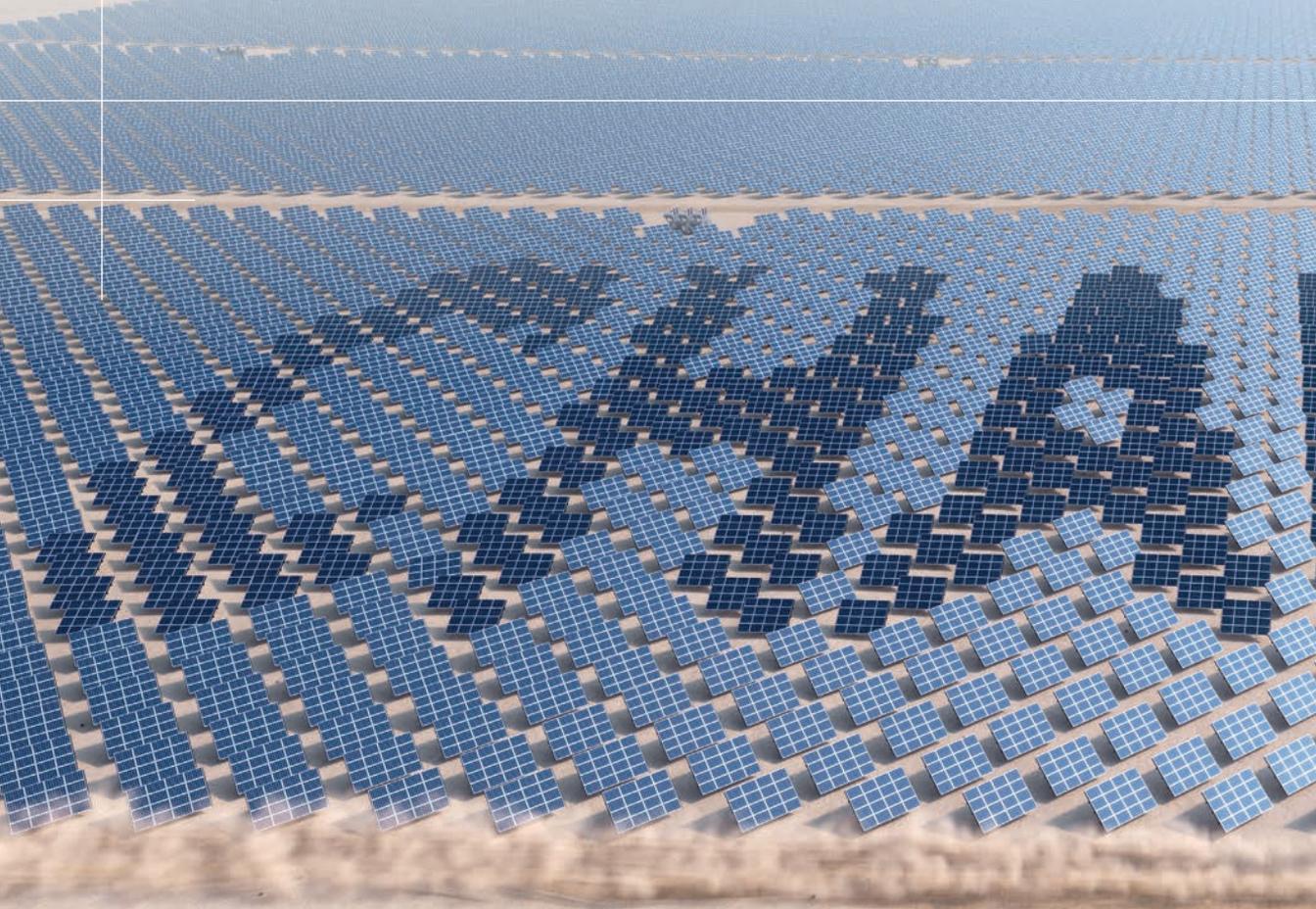
Tidak semua negara mencapai emisi nol bersih menjelang 2070. Namun, mulai 2020, negara-negara progresif mengikuti komitmen legal yang lebih dini dari Swedia untuk mencapai net-zero emissions menjelang 2045. Bersama Brasil dan negara-negara ekonomi besar lainnya, sebagian besar

negara Eropa mencapai nihil menjelang 2060, sedangkan sebagian negara terus mengalami penurunan sehingga emisi dalam skala perekonomian mereka menjadi negatif – dengan kata lain, menarik CO₂ dari atmosfer. Hal ini dicapai dengan menggabungkan penggunaan biomasa untuk energi dengan CCS. Negara-negara ini selanjutnya mampu menawarkan transfer emisi negatif kepada negara-negara yang masih dalam wilayah positif, yang dengan demikian mencapai keseimbangan global yang diserukan pada Paris Agreement.

TOTAL KONSUMSI ENERGI FINAL DUNIA MENURUT SEKTOR DALAM SKENARIO **SKY**



Sumber: Analisa Shell



2020

2025

2030

2035

2040

2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

20

BAGIAN 5 **TRANSFORMASI SEKTOR**

5. TRANSFORMASI SEKTOR

Di skenario **Sky**, rute menuju net-zero emissions tahun 2070 melibatkan perubahan di setiap tingkat perekonomian dan sistem energi, mulai dari konfigurasi kota untuk permintaan konsumen akan energi hingga terobosan teknologi guna mewujudkan alternatif bahan bakar fosil yang layak dan hemat biaya. Dan di skenario **Sky**, transformasi sistem energi untuk menghasilkan gas rumah kaca yang lebih sedikit sejalan dengan transformasi di sektor lain yang menghasilkan sepertiga selebihnya dari emisi gas rumah kaca.

Salah satu tren sistem energi paling penting di skenario **Sky** adalah elektrifikasi – meningkatnya penggantian bahan bakar fosil (seperti gas alam untuk memasak dan bensin untuk mobilitas) dengan listrik.

Revolusi transportasi yang berhasil

Menjelang 2020, telah dibuat fondasi untuk transformasi revolusioner sistem transportasi. Clean Energy Ministerial global, yang muncul tahun 2009 setelah Konferensi Iklim Kopenhagen untuk mendorong transisi ke perekonomian ekonomi bersih global, sudah mengadopsi Electric Vehicle Initiative (Prakarsa Kendaraan Listrik) sebagai salah

satu gerakan awal. Sebanyak 20 juta kendaraan listrik ditargetkan untuk diterapkan secara global menjelang 2020 dan 30% dari penjualan kendaraan baru menjelang 2030. Inggris Raya telah berjanji akan menghapus secara bertahap penjualan mobil penumpang bermesin pembakaran internal menjelang 2040.

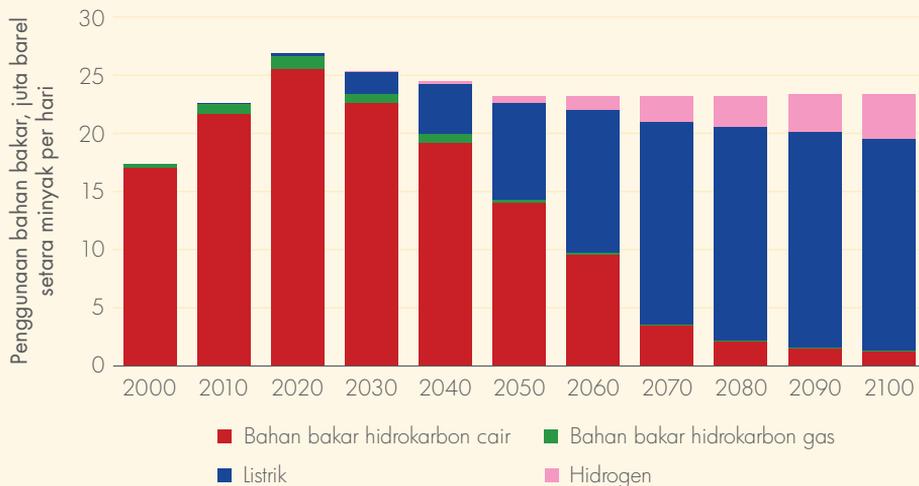
Di skenario **Sky**, transformasi itu terjadi lebih cepat daripada yang diperkirakan banyak orang; di awal 2030, lebih dari separuh penjualan mobil dunia adalah mobil listrik, dan meluas ke semua jenis mobil hingga tahun 2050. Salah satu alasannya adalah



Di skenario **Sky**, kendaraan listrik penumpang mencapai paritas harga pada mobil bermesin pembakaran menjelang 2025.

Menjelang 2035, 100% dari penjualan mobil adalah mobil listrik di UE, AS, dan Tiongkok, disusul negara dan kawasan lainnya yang berdekatan.

BAURAN BAHAN BAKAR UNTUK KENDARAAN PENUMPANG BERGESER CEPAT DI SKENARIO **SKY, DENGAN DOMINASI LISTRIK MENJELANG 2070 DAN BAHAN BAKAR CAIR HAMPIR SEPARUH DARI 2020 HINGGA 2050**



Sumber: Analisa Shell

karena di banyak kota besar yang makmur, para pekerja menikmati kebebasan dan kepraktisan yang diberikan oleh armada kendaraan listrik otonom. Alasan lain meningkatnya kendaraan listrik secara drastis ada hubungannya dengan sejumlah penawaran opsi baru yang menarik. Misalnya, di skenario **Sky**, muncul desain sasis terstandar dikombinasikan dengan arsitektur baterai atau sel bahan bakar (FCEV), yang dikirim dalam bentuk nyaris "flatpack" ke perusahaan-perusahaan desain setempat untuk pabrikasi bodi sesuai pesanan menggunakan teknik cetak 3D. Sistem operasi CarOS khusus pun dikembangkan, termasuk manajemen baterai dan pengoperasian otonom, yang dipasok berupa kotak antarmuka universal tunggal.

Dengan cara ini, penetrasi kendaraan listrik berakselerasi di balik pendekatan manufaktur baru dan proposisi nilai pelanggan yang menawarkan kustomisasi lengkap. Ini imbalan yang menggembirakan bagi hilangnya kinerja mesin diferensial. Perubahan ini sama menyeluruhnya dengan kehadiran lini perakitan.

Di semua bentuk transportasi, bahan bakar nabati memainkan peran penting dalam transisi energi di skenario **Sky**. Dengan tetap mengandalkan bahan bakar cair sebagai pilihan bahan bakar berkepadatan energi tinggi, tetapi berlawanan dengan kebutuhan untuk mengurangi emisi CO₂, penggunaan bahan bakar nabati meluas dengan cepat. Sementara bahan bakar generasi pertama seperti etanol tebu berlanjut hingga pertengahan abad sebelum akhirnya berkurang, muncul dorongan dari panduan

BAHAN BAKAR NABATI CANGGIH TUMBUH PESAT DI SKENARIO **SKY, YANG MEMENUHI KEBUTUHAN TERUS-MENERUS AKAN BAHAN BAKAR HIDROKARBON CAIR.**



Catatan: Menjelang 2100, produksi bahan bakar nabati mencapai sekitar 30 juta barel setara minyak per hari.

Sumber: Analisa Shell

langkah sintesis baru yang menghasilkan padanan bahan bakar tak disangka-sangka untuk penerbangan, kargo darat, dan perkapalan. Bahan bakar ini bisa dihasilkan dari berbagai macam bahan mentah nabati, yang mengurangi ketergantungan pada tanaman pangan.

Di skenario **Sky**, transformasi kendaraan penumpang sebagian besar selesai menjelang 2070. Konsumsi bahan bakar cair hidrokarbon hampir separuh antara 2020 dan 2050, dan turun sebesar 90% menjelang

2070 dalam sektor ini. Meski kargo darat bergantung pada diesel hingga 2050-an, sektor ini juga bertransformasi sendiri akibat kebutuhan akan bahan bakar berkepadatan energi tinggi, memisahkan lini biodiesel, hidrogen, dan elektrifikasi.

Lingkungan buatan

Perubahan dalam lingkungan buatan, yang meliputi perumahan dan properti komersial, telah berkembang selama beberapa dekade, tetapi fondasinya dibangun pada tahun 2020-an. Selama masa ini, pemerintah menerapkan perubahan radikal dalam peraturan membangun, menetapkan standar efisiensi yang tinggi bagi peralatan, mendirikan infrastruktur baru bagi kebutuhan alat pemanas di tingkat distrik dan regional, serta menetapkan praktik yang mendorong pembangunan kota yang minimalis dan menarik.

Dorongan efisiensi begitu efektif sampai-sampai permintaan energi final untuk melayani perumahan, termasuk untuk alat pemanas, memasak, penerangan, dan penggunaan peralatan, tetap stabil sekitar 90 EJ selama abad itu, bahkan saat sebagian besar dari meningkatnya populasi global mengakses berbagai kelengkapan ini.



Efisiensi kulkas rumah tangga di AS naik tiga kali lipat sejak 1970. Untuk menawarkan hidup lebih baik untuk semua orang sekaligus mengelola permintaan energi, skenario Sky mencocokkan semua keberhasilan ini di seluruh bagian perekonomian.

Elektrifikasi stok bangunan berproses cepat. Penggunaan gas alam secara lokal berkurang secara bertahap mulai 2030. Menjelang 2070 di Amerika Utara dan sebagian besar Eropa, gas alam tidak lagi digunakan untuk alat pemanas dan memasak di perumahan.

Transformasi industri

Pergeseran dalam industri diperlukan agar net-zero emissions dapat mengikuti jalur yang lebih bertahap, sebagian besar didorong oleh implementasi progresif dari sistem penetapan harga karbon oleh pemerintah dan pentahapan harga resultan yang terjadi ketika pemerintah merespons Paris Agreement. Transformasi ini terjadi menyeluruh dan mengikuti tiga rute berbeda:

- Efisiensi terus meningkat, dengan sebagian besar proses industri mendekati batas efisiensi termodinamika dan mekanik menjelang 2050-an.
- Banyak proses yang bergeser ke listrik, terutama untuk industri ringan, sementara penggunaan listrik berlipat ganda mulai 2020 hingga 2040. Hidrogen juga muncul sebagai bahan bakar penting bagi industri penerbangan sebelum 2050 karena menurunnya penggunaan gas alam. Namun, perubahan serupa untuk industri berat tidak muncul hingga setelah 2050, ketika hidrogen, biomas, dan listrik menggantikan penggunaan gas alam dan sebagian batu bara.

- Batu bara tetap penting bagi sektor metalurgi dan banyak proses lainnya sepanjang abad ini, tetapi dengan meningkatnya harga karbon yang ditetapkan pemerintah, CCS muncul sebagai solusi.

Industri juga diuntungkan dari meningkatnya fokus pada perekonomian sirkular, yang bertemu dengan meluasnya daur ulang besar-besaran selama abad ini, sejauh penurunan ekstraksi sebagian sumber daya yang diakibatkannya.

Dunia listrik

Karena listrik cepat menjadi diperlukan pada bidang transportasi, alat pemanas dan memasak rumah, serta proses industri, perannya dalam sistem energi meningkat. Menjelang 2070-an, listrik melampaui 50% dari konsumsi energi untuk penggunaan akhir, berbeda jauh dengan kurang dari 20% pada tahun 2010-an.

Bersama dengan meningkatnya penetrasi energi terbarukan, masalah terkait intermitensi energi terbarukan dan infrastruktur jaringan listrik menerima perhatian kebijakan. Listrik terdistribusi dan skala kegunaan sama-sama semakin bersaing langsung dengan pembangkit listrik tenaga termal konvensional. Hal ini membuat harga listrik di beberapa pasar turun di bawah ongkos variabel dari pembangkit listrik tenaga batu bara dan gas yang kurang efisien sehingga mempercepat penonaktifannya.



Di skenario Sky, tenaga nuklir tumbuh mantap dengan kapasitas 1.400 GW menjelang 2070, naik dari 450 GW pada tahun 2020.



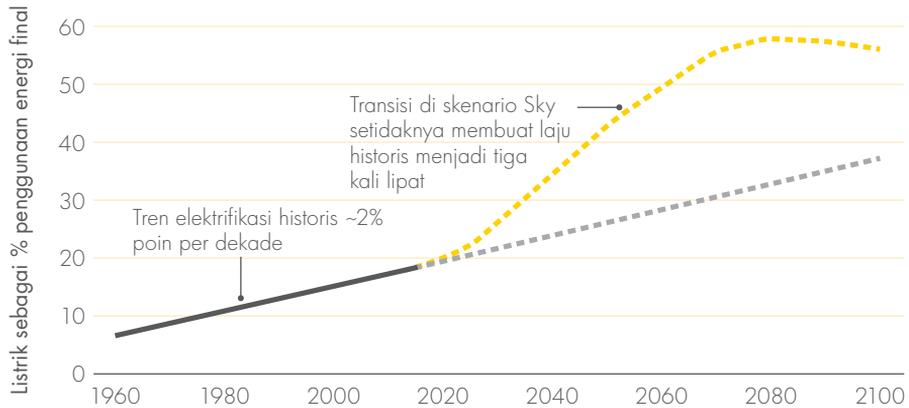


LISTRIK DI ABAD 21

Sekarang, permintaan listrik global mencapai sekitar 22.000 terrawatt jam (TWh) per tahun. Di skenario **Sky**, permintaan naik hingga sekitar 100.000 TWh per tahun selama paruh kedua abad ini, atau ada tambahan pembangkit listrik sekitar 1.400 TWh per tahun mulai sekarang. Sebagai rujukan, setelah selesai, pembangkit listrik tenaga nuklir GW Hinkley Point sebesar 3,3 GW yang sedang dibangun di Inggris Raya akan menambah sekitar 29 TWh. Jadi, kecepatan pembangunan ini setara dengan 50 pembangkit listrik raksasa di seluruh dunia setiap tahun, atau satu fasilitas tambahan seperti itu per minggu. Pembangkit listrik

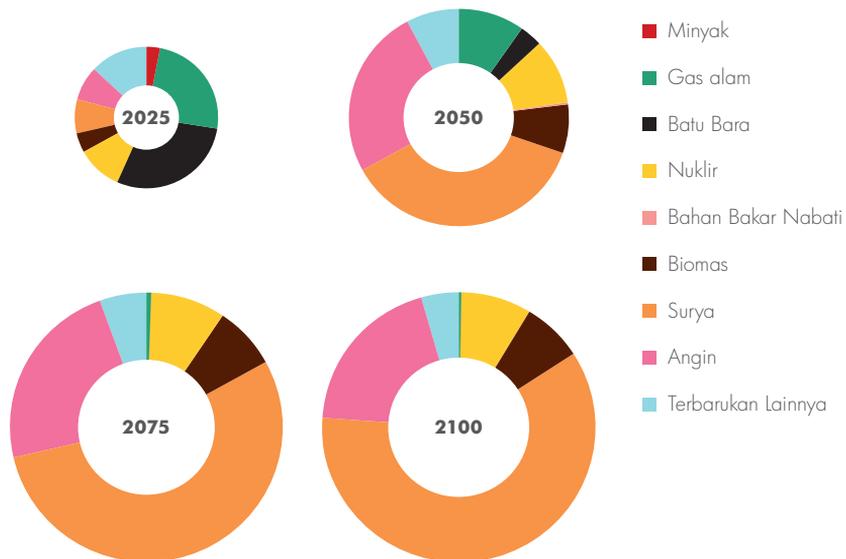
global dari angin dan surya sudah sekitar 1.300 TWh pada tahun 2016, dengan tambahan sekitar 200 TWh dari 2015 hingga 2016 terhadap total pembangkitan listrik tambahan sekitar 600 TWh. Jadi, pembangkit listrik baru tenaga surya dan angin belum dapat memenuhi permintaan pembangkitan listrik tambahan. Walau keduanya bertambah pesat, pembangkit listrik tenaga termal akan terus diperlukan hingga setidaknya pertengahan abad. Ini juga berarti emisi dari pembangkit listrik secara global hanya akan turun dalam jangka menengah sejauh gas alam dan nuklir bisa menggantikan batu bara.

TREN ELEKTRIFIKASI SAAT INI TIDAK CUKUP UNTUK SKENARIO ST



Sumber: Analisa Shell, IEA (data historis)

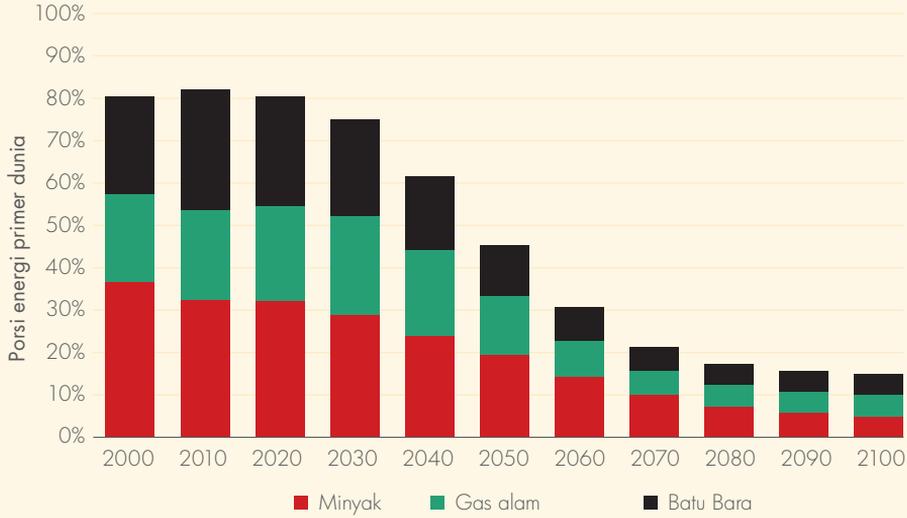
CAMPURAN LISTRIK BANYAK BERGESER KE TENAGA SURYA SELAMA ABAD INI



Catatan: Diameter bagan pai mewakili permintaan listrik total.

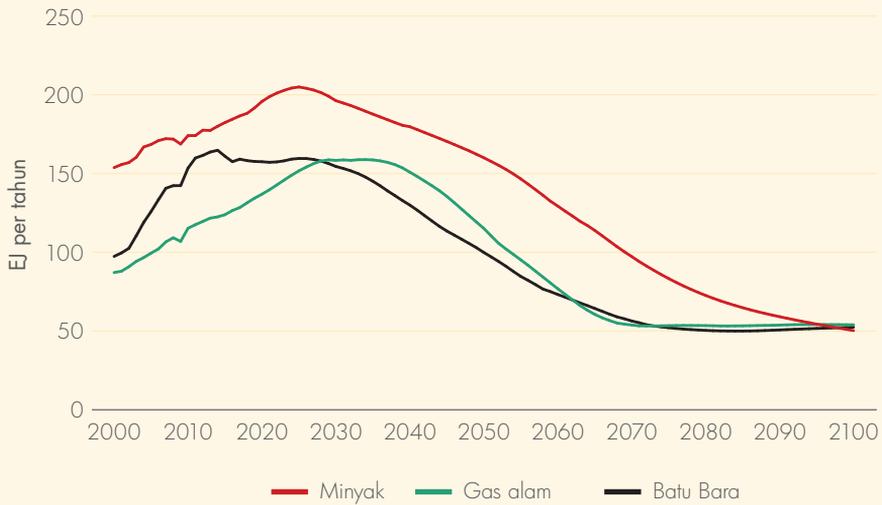
Sumber: Analisa Shell

DI SKENARIO **SKY**, MENJELANG PERTENGAHAN ABAD ENERGI FOSIL AKHIRNYA MENINGGALKAN PORSI MAYORITASNYA DARI SISTEM ENERGI GLOBAL



Sumber: Analisa Shell

DI SKENARIO **SKY**, PUNCAK PERMINTAAN BATU BARA SUDAH BERADA DI BELAKANG KITA, PUNCAK PERMINTAAN MINYAK MENYUSUL PADA TAHUN 2020-AN, DAN SETELAH SAMPAI TINGKAT STABIL, PERMINTAAN GAS TURUN CEPAT MULAI 2040



Sumber: Analisa Shell

Di skenario **Sky**, masalah reliabilitas listrik sebagian besar dikelola melalui kombinasi desain pasar yang ditingkatkan (mis. pasar kapasitas), integrasi jaringan listrik (mis. integrasi lintas batas di Eropa), manajemen sisi-permintaan (mis. jaringan listrik cerdas), dan penerapan penyimpanan panas, baterai, dan hidrogen yang hemat biaya. Turunnya biaya modal menjamin implementasi energi terbarukan terjangkau, bagus dalam pengeluaran historis atas sistem energi baru sebagai porsi PDB global.

Menjelang 2070-an, sektor pembangkit listrik telah maju melalui dua transformasi radikal. Yang pertama adalah salah satu skala, dengan peningkatan listrik yang hampir lima kali lipat dibandingkan tahun 2017. Komposisi berbagai sumber juga berubah. Bahan bakar fosil tidak lagi ada pada sektor ini, sedangkan tenaga surya memenuhi lebih dari separuh kebutuhan listrik global pada tahun 2070 dan terus meningkat. Tambahan baru pada sektor ini adalah pembangkit listrik dari pembakaran biomasa, yang dikaitkan dengan CCS untuk menawarkan penurunan karbon yang penting.

Sistem energi baru

Di skenario **Sky**, tanda-tanda jelas pertama dari transisi muncul pada tahun 2020-an: kebutuhan permintaan minyak, penurunan batu bara, peningkatan gas alam sebagai pengganti batu bara, tenaga surya menyaingi nuklir sebagai bagian nontosil terbesar dari sistem energi.

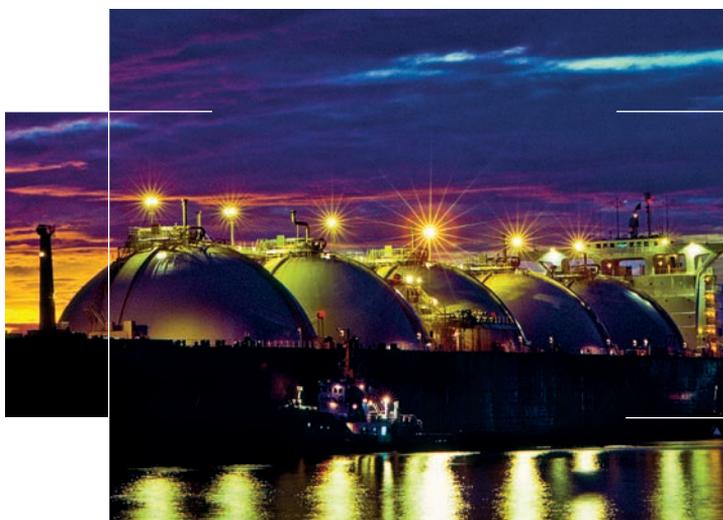
Menjelang 2070, produksi minyak tetap sekitar 50-60 juta barel per hari akibat pengetatan penyediaan secara luas karena minyak masih dipasok. Transportasi nendarat tetap banyak menggunakan bahan bakar hidrokarbon cair, pertumbuhan keseluruhan hingga 2070. Bahan bakar nabati melengkapi campuran bahan bakar cair, dengan meningkatnya peran hidrogen setelah 2050.

Gas alam, baik berupa gas lewat pipa maupun LNG, memainkan peran dini yang penting dalam menggantikan batu bara untuk pembangkit listrik dan menjadi backup intermitensi energi terbarukan seperti angin dan surya di sektor tenaga listrik. Namun, akibat panel surya berkembang pesat dan menurunnya biaya baterai dan sangat tingginya biaya emisi karbon, maka gas alam pun harus mengalah pada transisi. Inilah bahan bakar fosil terakhir yang mencapai puncak, dengan permintaan yang menurun cepat setelah 2040.

Menjelang 2055, penggunaan gas alam untuk pembangkit listrik kembali ke tingkatan tahun 2015 secara global.

Pada pertengahan abad ini, bauran energi mulai terlihat sangat berbeda, dengan tenaga surya sebagai sumber pasokan energi utama yang dominan sekitar tahun 2055.

Emisi CO₂ sistem energi mencapai puncaknya di pertengahan 2020-an sekitar 35 gigaton (Gt), setelah itu terus menurun.



Permintaan gas alam global mencapai tingkat stabil menjelang 2028 di skenario Sky sebesar 4.600 miliar meter kubik per tahun (bcma) – naik dari 3.700 bcma pada tahun 2017.

Sektor gas rumah kaca dan sektor nonenergi lainnya

Skenario **Sky** sampai di emisi CO₂ nihil untuk sistem energi global menjelang 2070, walaupun dengan distribusi bervariasi dalam berbagai sektor dan negara. Hal ini meliputi semua karbon yang ada dalam batu bara, minyak, dan gas yang digunakan untuk energi, tetapi tidak termasuk bahan baku untuk produk nonenergi seperti plastik.

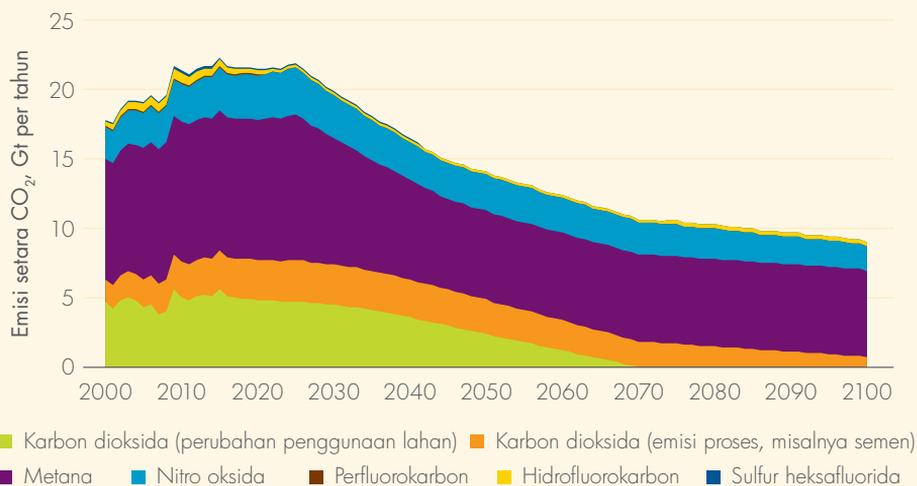
Namun, banyak aktivitas manusia lainnya yang mengubah komposisi gas runtu (trace gas) dari atmosfer, yang ikut menyumbang pemanasan sistem iklim. Salah satu contohnya adalah kalsinasi batu gamping melepaskan CO₂ pada bidang manufaktur semen.

Sistem pertanian telah menambahkan metana ke atmosfer, terutama yang dihasilkan oleh ternak sapi dan penanaman padi. Penggunaan tanah berubah selama beberapa abad, seperti penggundulan hutan dan degradasi lahan pertanian, juga telah menurunkan kapasitas pengangkutan karbon dari biosfer berbasis tanah, pada gilirannya menambah kadar CO₂ di atmosfer.

Di zaman modern, semua aktivitas ini berakselerasi, dan trace-gas (gas runtu) baru yang berusia panjang telah muncul, sebagian bersama potensi pemanasan yang luar biasa. Salah satu contohnya adalah sulfur heksafluorida, yang lazim terdapat pada transformator berisolasi gas, memiliki potensi pemanasan 24.000 kali dari CO₂.

Kendati demikian, di skenario **Sky**, terjadi perubahan signifikan di seluruh sektor yang menghasilkan gas rumah kaca. Walaupun semua item dalam tabel pendamping menyajikan praktik terbaik saat ini di beberapa lokasi, panduan langkah **Sky** menentukan serapan universal sekitar akhir 2030, tetapi dengan penurunan yang dikenali di negara ekonomi yang kurang maju. Untuk gas berusia pendek seperti metana, kebutuhannya adalah emisi yang berkurang secara signifikan, ketimbang nihil, karena gas-gas ini terurai di atmosfer selama beberapa tahun.

SISTEM NON-ENERGI GAS RUMAH KACA JUGA TURUN CEPAT DI SKENARIO **SKY**

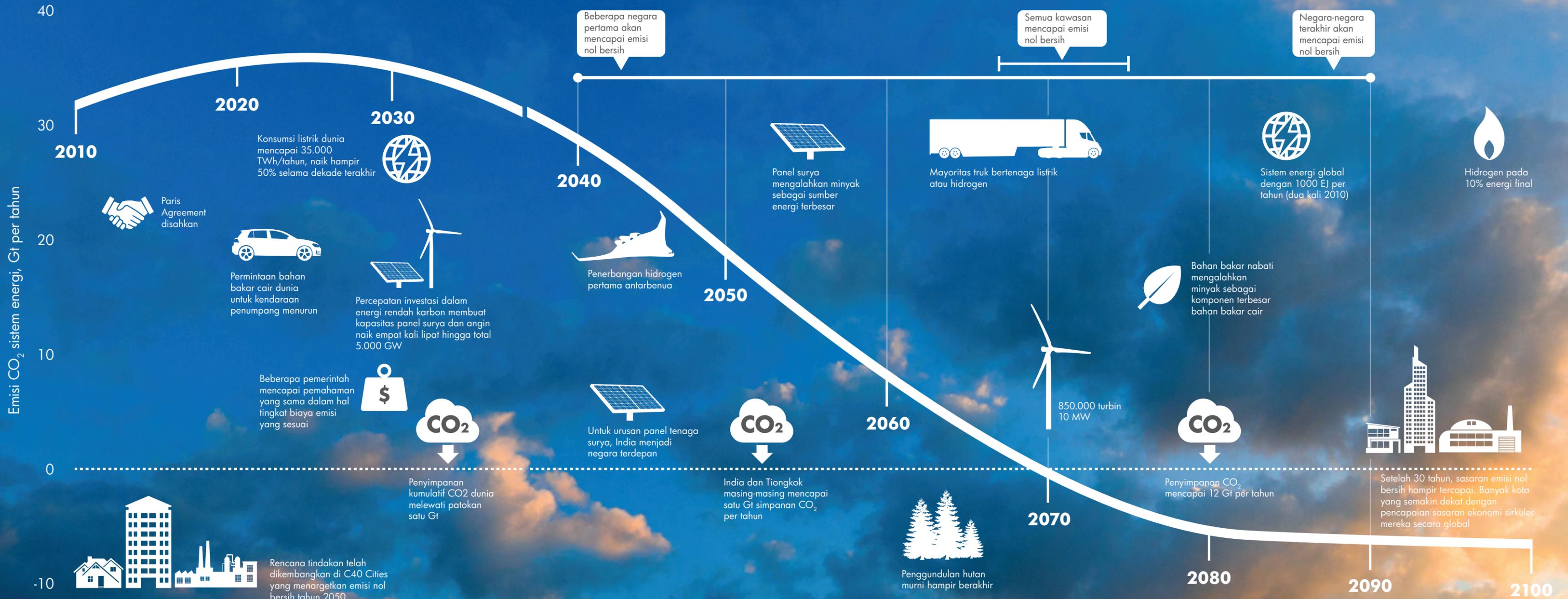


Sumber: Analisa Shell, MIT

Walaupun penekanan di skenario **Sky** ada pada emisi CO₂ sistem energi, dibutuhkan pandangan atas semua aspek emisi gas rumah kaca untuk menjalankan skenario dan memahami potensi kenaikan suhu permukaan. Pandangan itu dikembangkan berdasarkan implementasi lengkap dari semua langkah dalam tabel.

GAS	SEKTOR	TINDAKAN YANG DIPERLUKAN OLEH SKENARIO SKY
Karbon dioksida	Semen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Semen untuk bangunan secara bertahap digantikan ■ Penggantian batu gamping sebagai bahan baku misalnya menggunakan abu-terbang (fly-ash) ■ Menggunakan penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS)
	Industri (emisi proses)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menggunakan CCS
	Pertanian	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menghapuskan penggundulan hutan untuk memperoleh lahan ■ Menerapkan program karbon tanah, misalnya bertani tanpa membajak lahan, rotasi penggunaan tanah
	Urbanisasi dan pembangunan	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menciptakan kota hijau melalui penanaman pohon secara masif ■ Memelihara jalur hijau di dalam dan di sekitar kota ■ Menghindari penyebaran kota melalui tempat tinggal berkepadatan tinggi ■ Menangani penggunaan biomas tradisional melalui akses modern ke program energi
Metana	Batubara pertambangan	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mengurangi konsumsi batu bara ■ Menerapkan praktik terbaik untuk pengaliran dan penggunaan metana di tambang-tambang batu bara (misalnya Panduan UNECE) ■ Mengelola tambang yang ditinggalkan
	Industri minyak dan gas bumi	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mengurangi konsumsi minyak dan gas bumi ■ Para pemimpin industri minyak dan gas bumi menerapkan praktik terbaik mulai 2020-an, dan semua praktik terbaik pemenuhan produksi dunia menjelang 2050
	Peternakan sapi	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menawarkan produk alternatif kepada konsumen ■ Mengubah diet ternak untuk meminimalkan metana
	Penanaman padi	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mengurangi pembanjiran paksa pada penanaman padi
	Urbanisasi dan pembangunan	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menangkap metana dari pengurukan tanah
Nitro oksida	Pertanian	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menerapkan manajemen pupuk nitrogen, mis. laju aplikasi, formulasi (jenis pupuk), pengaturan waktu aplikasi, penempatan
	Proses industri	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menerapkan dekomposisi katalis dan teknik destruksi termal
Gas fluorinasi	Rupa-rupa (mis. industri TI, alat pendingin, transformator)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Penggantian bertahap PFC, HFC, dan SF₆ ■ Menggunakan manajemen praktik terbaik ■ Memperkenalkan program pemulihan untuk peralatan yang ditarik (mis. kulkas, transformator)

SKALA PERUBAHAN GLOBAL DI SKENARIO **SKY** BELUM PERNAH TERJADI

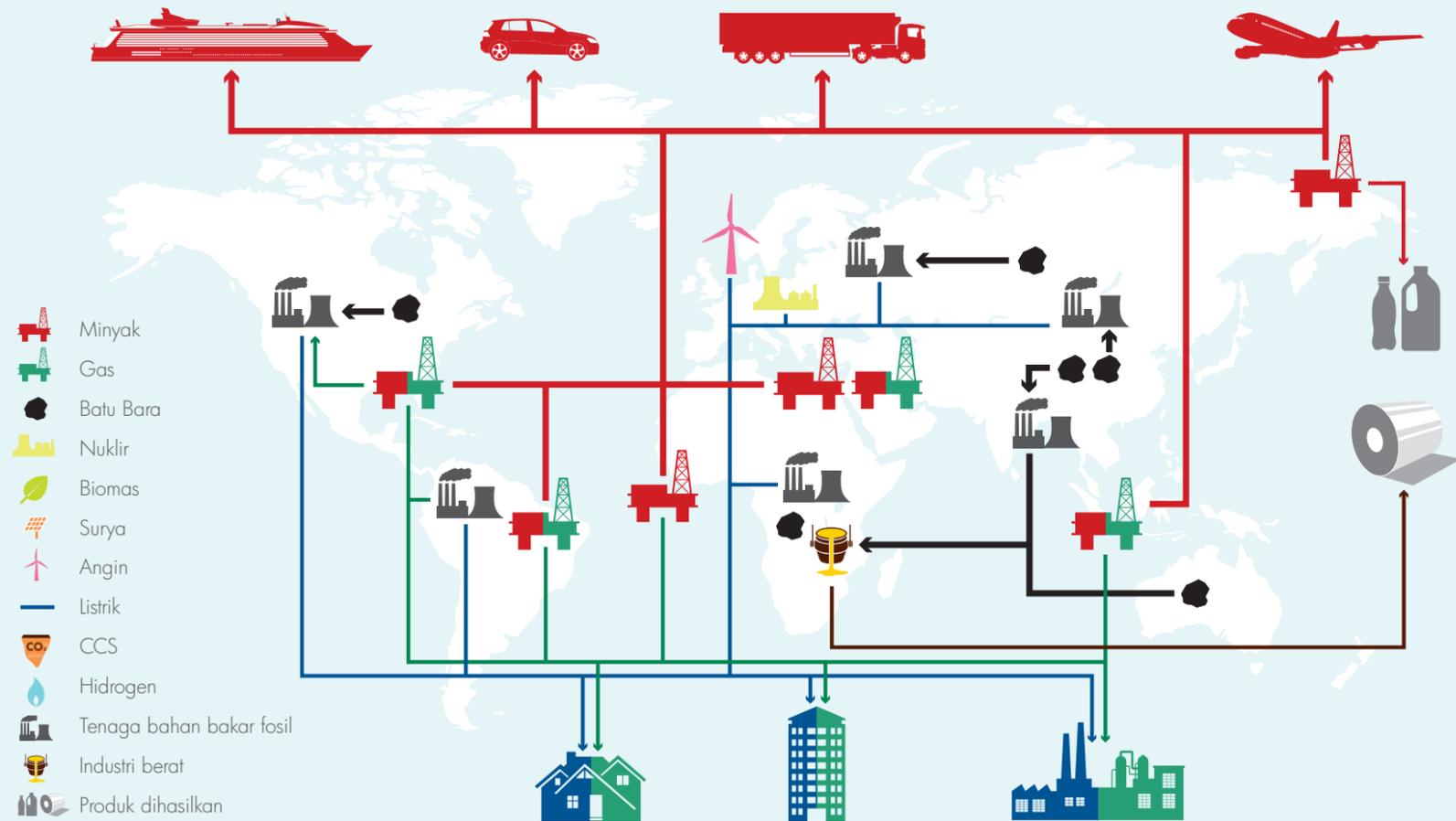


SISTEM ENERGI BARU

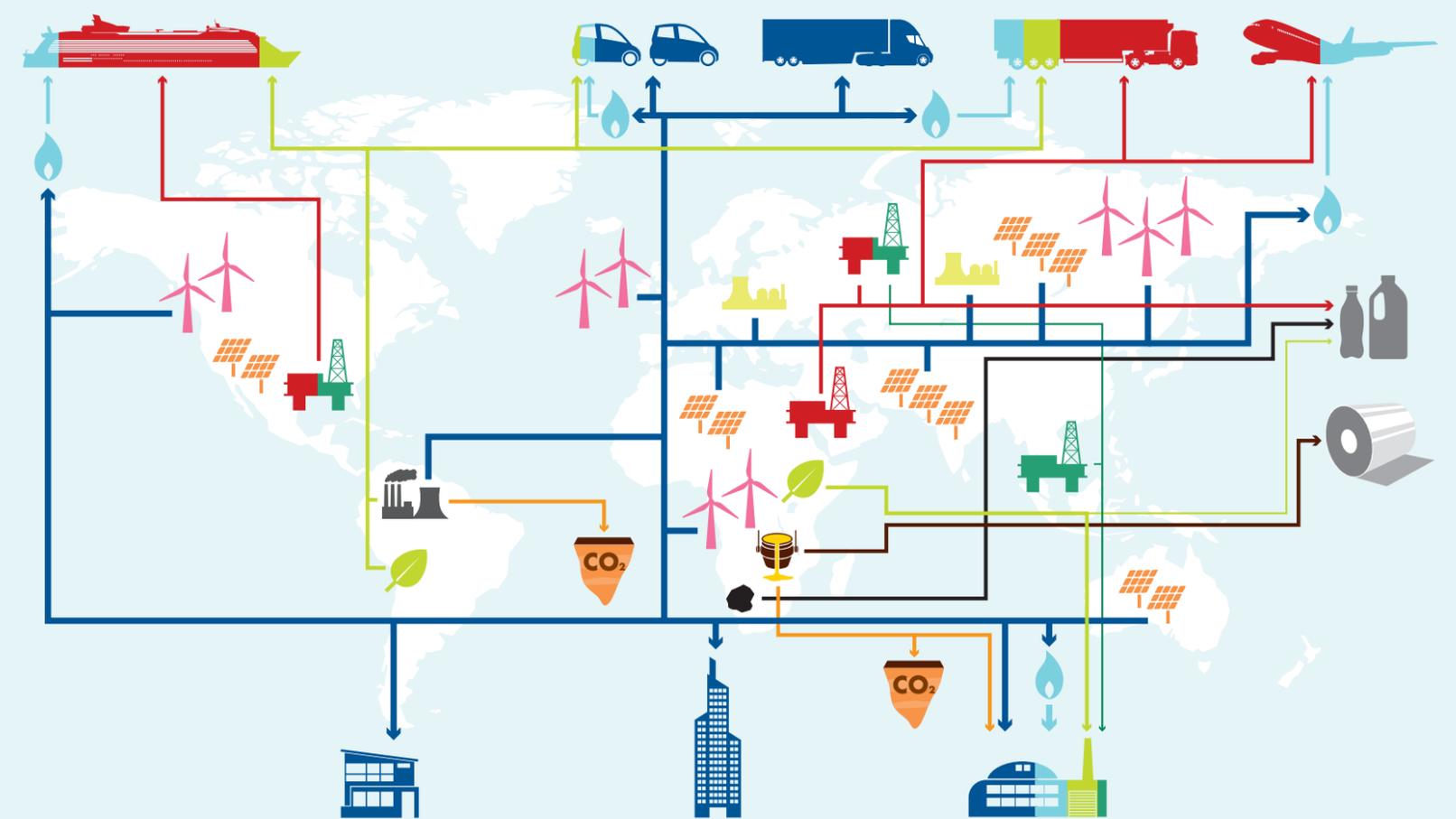
Setelah lewat 200 tahun, cara kita memperoleh energi telah berubah sepenuhnya. Untuk sebagian besar populasi dunia di tahun-tahun awal abad ke-19, kebutuhan energi dipenuhi secara individual dengan mengumpulkan dan membakar kayu, walaupun penyediaan batu bara di kota kecil dan kota besar baru dimulai. Lilin untuk penerangan rumah dibuat di rumah atau dibeli dari pembuat lilin setempat, yang menggunakan berbagai macam lemak hewan.

Seratus tahun kemudian, terutama di negara-negara kaya, penerangan disediakan melalui gas kota, lampu minyak tanah, dan listrik bagi penduduk yang jumlahnya meningkat pesat. Walaupun masih ada sejumlah orang yang tidak atau sedikit memiliki akses energi sekarang ini, kebanyakan penduduk dunia rutin menggunakan produk minyak bumi, gas alam, dan listrik. Namun, seperti apa keadaannya di bagian belakangan abad ini ketika kita mencapai net-zero emissions? Di skenario **Sky**, sistem energi berbasis listrik akan menggantikan sebagian besar sistem berbasis bahan bakar fosil yang ada sekarang.

SEKARANG – SISTEM ENERGI BERBASIS BAHAN BAKAR FOSIL



SKENARIO SKY TAHUN 2070 – SISTEM ENERGI BERBASIS LISTRIK





15 2020 2025 2030 2035 2040 2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

20

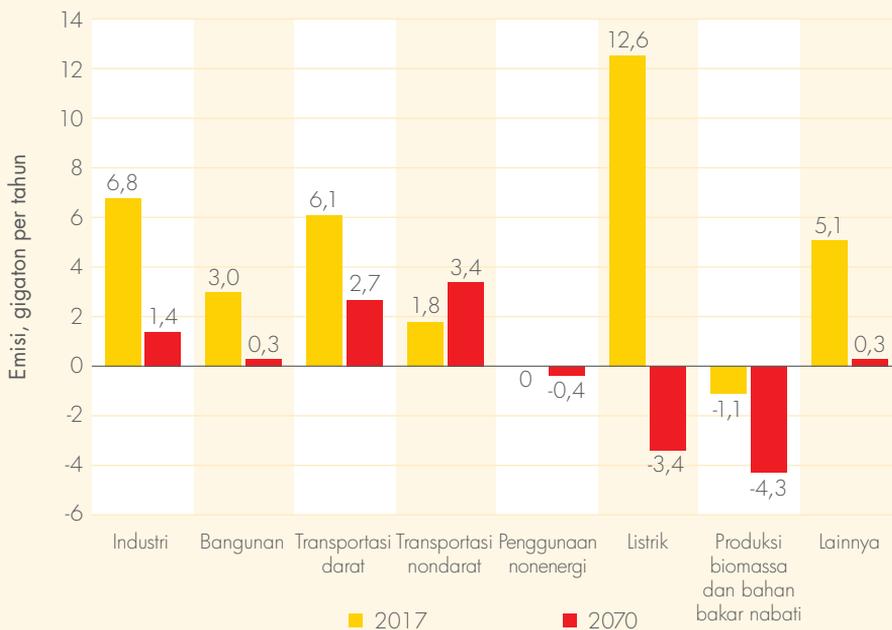
BAGIAN 6
MENCAPAI KESEIMBANGAN

6. MENCAPAI KESEIMBANGAN

Sisa emisi

Di skenario **Sky**, penggunaan bahan bakar fosil menurun tajam setelah 2030 – tetapi tidak bisa dihilangkan di semua sektor sejauh pemanasan dibatasi jauh di bawah 2 °C. Bahkan dengan berbagai macam teknologi yang tersedia dan kurun waktu penerapan 50 tahun, tidak semua teknologi dan penyediaan energi bisa ditukar dengan alternatif nonemisi pada kecepatan yang diperlukan. Tentu saja, di sektor yang disebut “sukar-dihilangkan”, alternatif praktis harus sudah dibangun, dan inovasi dibanding penerapan masih menjadi agenda saat ini.

BAGAIMANA EMISI CO₂ SISTEM ENERGI DI SKENARIO **SKY** BERTRANSFORMASI KE NIHIL MENJELANG 2070



Catatan: “Lainnya” mewakili aktivitas sektor energi lainnya, seperti transportasi dan penyulingan energi fosil, pembangkitan panas terpusat, dan di masa depan, produksi hidrogen.

Sumber: Analisa Shell

MENGURANGI KARBON MELALUI PENGGUNAAN

Penangkapan dan penggunaan karbon (CCU) beroperasi sangat berbeda dari CCS (penyimpanan geologis permanen). Ada beberapa contoh penangkapan dan penggunaan dalam praktik sekarang, misalnya konversi CO₂ ke bahan kimia tertentu (mis. urea, pupuk dasar) dan produksi plastik seperti polikarbonat. Semua proses ini memerlukan CO₂ sebagai bahan baku, tetapi tidak harus didesain untuk menyimpannya secara permanen. Jika karbon dikembalikan ke atmosfer, misalnya melalui degradasi atau pembakaran produk, dampak bersih proses ini mungkin nol ditinjau dari sudut tingkat CO₂ atmosfer.

Di sistem energi masa depan, ada dua cara agar CCU bisa efektif:

- CCU dapat memfokuskan pada produksi bahan bakar hidrokarbon sintetis, yang dapat menggantikan kebutuhan akan hidrokarbon fosil. Akan tetapi, industri bahan bakar sintetis perlu inovasi teknologi substansial yang kemudian perlu diskalakan luas agar berdampak signifikan. Artinya, rute ini mungkin tidak akan menjadi penyumbang terbesar terhadap jadwal waktu yang dimaksud dalam skenario **Sky**. Bahan bakar sintetis tidak hilang dengan sendirinya, karena begitu ia dibuat dan digunakan, CO₂ akan dikembalikan ke atmosfer.

- CCU dapat diterapkan pada manufaktur barang tertentu – mis. bahan bangunan atau plastik. Namun, agar berfungsi sebagai mekanisme mitigasi yang serupa dengan CCS, CCU harus mendorong ke arah penyimpanan yang sedikit-banyak permanen. Total stok produk harus dijaga untuk waktu yang sangat lama (setidaknya satu abad atau lebih) supaya CCU bisa menandingi CCS. Di skenario **Sky**, bahan bakar fosil dan bahan baku nabati digunakan untuk membuat produk demikian, yang berfungsi sebagai pengurangan karbon yang efektif.

Situasi ini berarti bahwa memberikan nilai mitigasi pada CCU akan memainkan peranan penting. Melakukan hal itu bagi CCS adalah tugas yang relatif mudah – setiap ton yang disimpan dapat dihitung sebagai mitigasi permanen dan akan berkontribusi pada tugas keseluruhan untuk mencapai net-zero emissions. Hal yang sama tidak berlaku untuk CCU. Walaupun karbon dapat disertakan dalam urea atau polikarbonat, tidak ada protokol yang ditetapkan untuk mendefinisikannya sebagai mitigasi permanen. Masih ada pekerjaan yang harus dilakukan dalam bidang ini.

Walaupun setiap aspek sistem energi saat ini telah berubah atau sedang bertransisi di tahun 2070, penggunaan bahan bakar fosil yang tersisa menyebabkan emisi sekitar 15 Gt CO₂ per tahun, turun menjadi 11 Gt menjelang 2100. Ini sekitar sepertiga jumlah pada hari ini. Karena alasan ini, penurunan emisi (yakni, mengurangi CO₂ dari atmosfer) menonjol dalam hampir semua skenario energi rendah emisi jangka panjang, termasuk skenario **Sky**.

Paris Agreement mengakui realitas ini saat menyerukan keseimbangan antar emisi melalui berbagai sumber dan buangan dengan pengurangan gas rumah kaca. Yang penting, Paris Agreement mengakui bahwa setelah upaya mitigasi signifikan sekalipun melalui substitusi, emisi gas rumah kaca akan berlanjut, yang berarti bahwa penurunan akan menjadi hal yang sangat penting pada beberapa tingkatan.

Menyeimbangkan mekanisme di sistem energi

Di sektor energi, skenario **Sky** menggunakan tiga mekanisme yang mencegah pelepasan CO₂, atau membuang CO₂ dari atmosfer. Secara keseluruhan, mekanisme ini menangani satu miliar ton CO₂ selama satu abad.

1. CCS konvensional diterapkan di beberapa fasilitas penghasil emisi besar, seperti pabrik semen atau peleburan bijih besi. CO₂ biasanya secara geologis tersimpan dua hingga tiga kilometer di bawah permukaan tanah. Saat ini, teknologi CCS diterapkan pada skala tertentu di sejumlah fasilitas di seluruh dunia.
2. CCS konvensional diterapkan di berbagai pembangkit listrik yang beroperasi dengan bahan baku biomas yang diproduksi secara ramah lingkungan. Secara keseluruhan, mekanisme ini menghasilkan penghapusan bersih CO₂ dari atmosfer.
3. Produksi aneka produk, seperti plastik, dari bahan bakar fosil atau bahan baku biomas. Material ini kemudian digunakan oleh masyarakat dan dapat menjadi penyimpanan karbon yang efektif daripada melepaskannya ke atmosfer sebagai CO₂. Ketika karbon dihasilkan dari biomas, mekanisme ini juga menghasilkan penghapusan bersih CO₂ dari atmosfer.

Masalah emisi gas rumah kaca meluas melebihi penggunaan energi, dan ada juga saling pengaruh antara sistem energi dan sistem alami, mis. saat menggunakan bioenergi. Skenario **Sky** mengakuinya dan lingkup yang ada untuk tindakan-tindakan dalam satu sistem akan membantu sistem lain dan sebaliknya.



Di skenario Sky, perubahan dalam penggunaan tanah dan mengakhiri penggantian sangatlah penting bagi hasil keseluruhan. Namun, reboisasi skala besar dapat menjadi pengubah permainan, dengan potensi untuk mendorong lebih jauh lagi ke sasaran ambisius 1,5°C pada Paris Agreement.



Solusi berbasis alam: Reboisasi, restorasi, dan menghindari penggundulan hutan

Perubahan penggunaan lahan di seluruh dunia selama abad terakhir (tetapi meluas ke belakang ratusan tahun) telah berkontribusi pada kenaikan CO₂ atmosfer dan terus seperti itu. Global Carbon Project (Proyek Karbon Global) memperkirakan bahwa perubahan penggunaan tanah mengakibatkan lima Gt CO₂ per tahun dikeluarkan untuk setiap 20 tahun terakhir. Jika perubahan ini dapat dihentikan, banyak ekosistem rusak yang bisa dipulihkan. The Nature Conservancy memperkirakan bahwa sekitar 500 Gt CO₂ secara keseluruhan bisa diambil dari atmosfer dengan ongkos saat ini di bawah USD100/ton CO₂ dan secara berkelanjutan disimpan dengan lahan olahan dan tutupan hutan yang diperluas.

Mekanisme keempat yang diperkenalkan ke dalam skenario adalah mekanisme yang sudah dipahami secara luas dan banyak digunakan sekarang – reboisasi, restorasi tanah yang rusak, dan menghindari penggundulan hutan. Netzero emissions keseluruhan tidak bisa tercapai tanpa menangani bidang-bidang ini sejalan dengan sistem energi. Skenario **Sky** menjalankan berbagai tindakan signifikan terkait lahan untuk mengembalikan keseimbangan penggunaan lahan dan sistem pertanian, dan menjamin penggundulan hutan bersih mencapai nol menjelang 2070.

Lebih jauh lagi, reboisasi dalam skala sangat besar dapat menyertainya, menawarkan peluang untuk menghilangkan karbon tambahan dari atmosfer dan karenanya akan mendekati sasaran luas dari Paris Agreement, yaitu membatasi kenaikan suhu permukaan rata-rata global pada 1,5 °C.

Skala perubahan yang diperlukan dalam sektor penggunaan tanah memerlukan tindakan pemerintah, baik secara domestik maupun melalui mekanisme kerjasama internasional, sebagaimana yang terkandung dalam Paris Agreement.

Desain, implementasi, dan penggunaan mekanisme ini dapat memicu keterlibatan sektor swasta, yang pada gilirannya dapat mengakselerasi aktivitas yang diperlukan.

Tindakan dini adalah penting dalam bidang ini, mengingat proses restorasi dan reboisasi yang memakan waktu puluhan tahun. Karena itu, di skenario **Sky**, praktik yang berfokus pada alam ini memainkan peranan penting di samping transformasi penggunaan energi di seluruh bagian perekonomian. Tentunya, dalam beberapa dekade mendatang, sebagian dari dorongan awal untuk pembangunan ini bisa datang melalui dukungan industri dan pemanfaatan aktivitas tersertifikasi dan sertifikat yang diperdagangkan untuk kompensasi bagi emisi terkait energi yang sulit dikurangi. CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), sistem yang disepakati oleh industri penerbangan di tahun 2016 untuk mengadag kenaikan emisi di sektor itu, adalah contoh yang bagus – solusi berbasis alam menonjol dalam kategori ofset yang mereka ajukan. Bagaimanapun juga, lambat-laun di skenario **Sky**, sistem seperti CORSIA akan bergeser ke salah satu dari tiga kategori penangkapan karbon di atas untuk keperluan ofset.

Menjelang 2070, sasaran netzero emissions tercapai dalam sistem energi. Pengaruh timbal balik antara sistem energi dan sistem alam berlanjut. Sebagaimana diilustrasikan, keseimbangan sistem energi tercapai dengan penggabungan penggunaan CO₂ dan penyimpanan geologis CO₂ bersama bahan baku biomas untuk mengimbangi sisa emisi bahan bakar fosil yang masih ada di atmosfer.

Melalui lingkup tindakan yang lebih luas di seluruh sektor, termasuk langkah-langkah yang diambil untuk mewujudkan penggundulan hutan bersih dan untuk memulai proses restorasi tanah, sasaran umum Paris Agreement dalam mengimbangi emisi gas rumah kaca antropogen dengan penurunan di paruh kedua abad ini telah tercapai.

SOLUSI BERBASIS ALAM: MEMPERLUAS AMBISI MELALUI RESTORASI ALAM

Kasus dasar kami untuk skenario **Sky** berasumsi bahwa emisi CO₂ dari perubahan penggunaan tanah turun hingga nol menjelang 2070, sejalan dengan sistem energi yang mencapai net-zero emissions pada waktu yang sama. Namun, restorasi ekosistem, termasuk reboisasi skala besar, dapat memainkan peranan penting tambahan, yang menghasilkan penurunan CO₂ dari atmosfer dan karenanya menawarkan sebuah panduan langkah menuju hasil 1,5 °C yang ambisius.

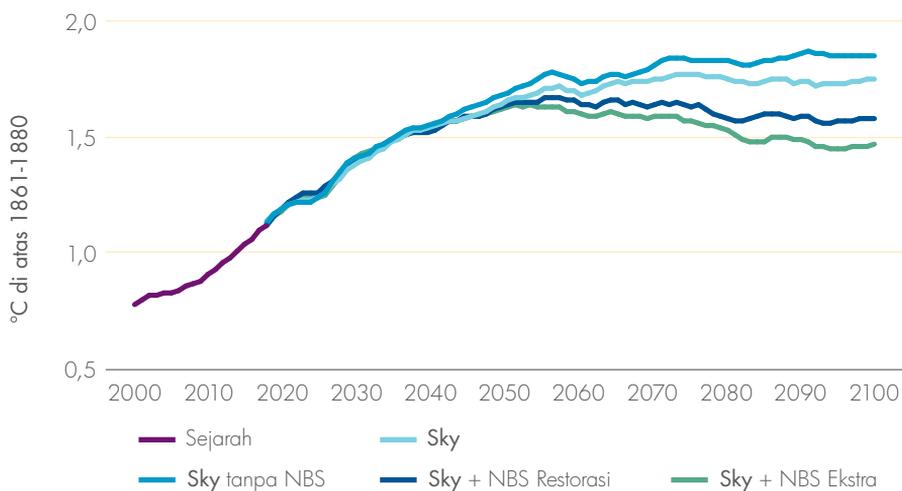
Jika kendala sosial bisa diatasi, misalnya dampak terhadap masyarakat petani, solusi berbasis alam (NBS) ini dapat membantu membatasi pemanasan puncak karena peningkatan skala bisa jauh lebih cepat daripada transformasi teknologi energi.

Riset dari institusi seperti MIT, Ecosystems Center at Woods Hole, dan The Nature Conservancy telah menunjukkan bahwa penurunan tambahan di luar skenario **Sky**

sebesar 10 Gt CO₂ per tahun dimungkinkan melalui reboisasi, walaupun skala tugas ini sangat besar. Sekitar 700 juta hektar tanah diperlukan selama seabad, luasnya hampir sebesar Brasil.

Kami telah menjalankan dua sensitivitas pada skenario **Sky**, melalui konsultasi dengan The Nature Conservancy (TNC) dan MIT. Sensitivitas pertama melibatkan akselerasi penghindaran penggundulan hutan dan memperkenalkan restorasi dalam skala yang sama. Kami menyebutnya "**Sky + NBS Restorasi**". Ini menambahkan penurunan lima Gt CO₂ per tahun pada skenario **Sky**. Sensitivitas kedua, "**Sky + NBS Ekstra**", diperlukan untuk membatasi pemanasan pada 1,5 °C dan berasumsi banyak ongkos dan kendala sosial yang bisa lebih berhasil diatasi sehingga laju penurunan tambahan sebesar 10 Gt CO₂ per tahun (yakni, total 15 Gt per tahun) bisa tercapai.

MEMPERLUAS AMBISI DI SKENARIO **SKY**

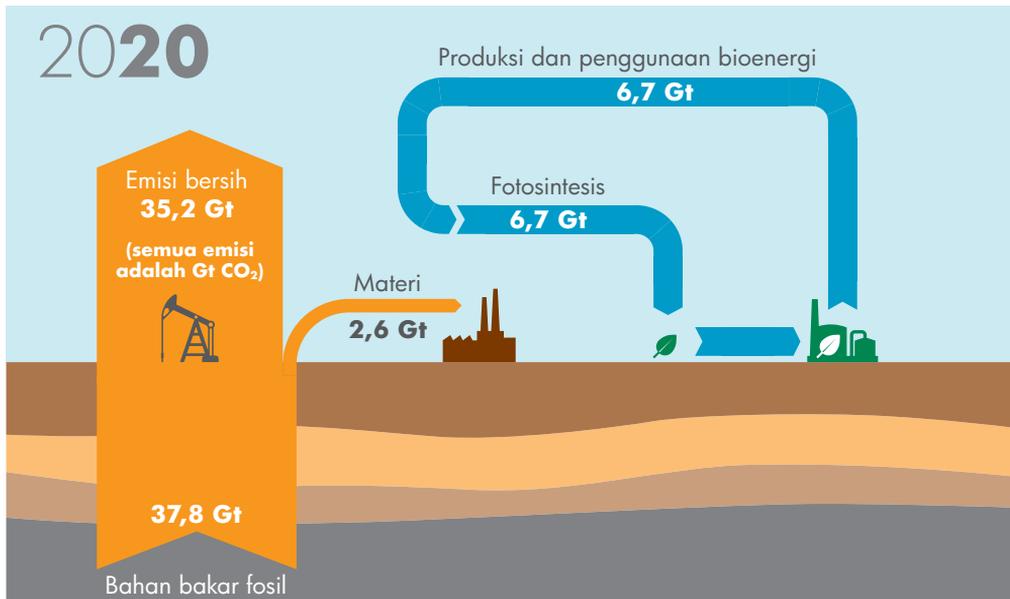


Sumber: Analisa Shell, MIT

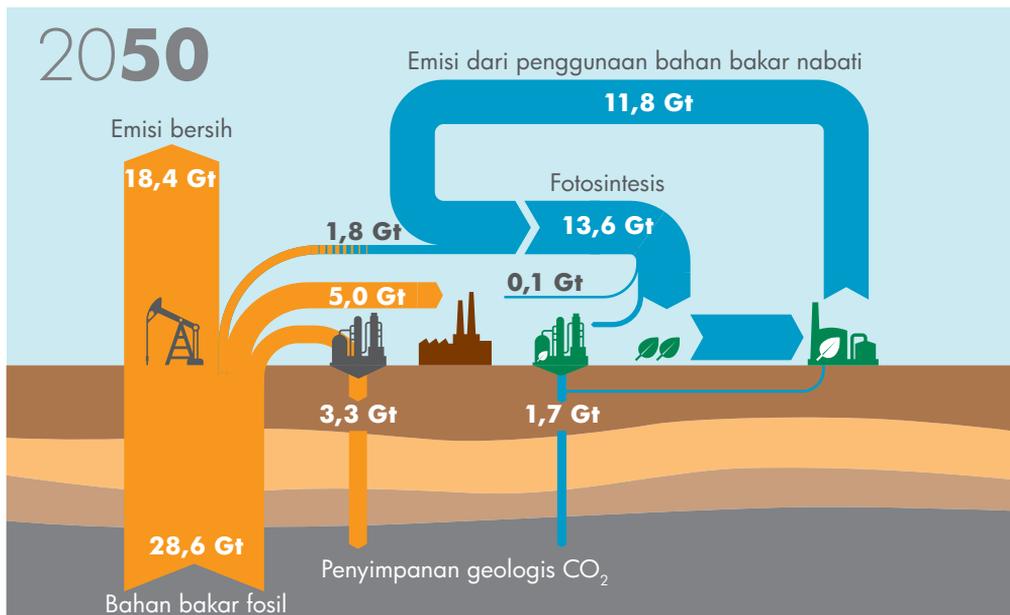


PERUBAHAN KESEIMBANGAN CO₂ SISTEM ENERGI DI SKENARIO SKY

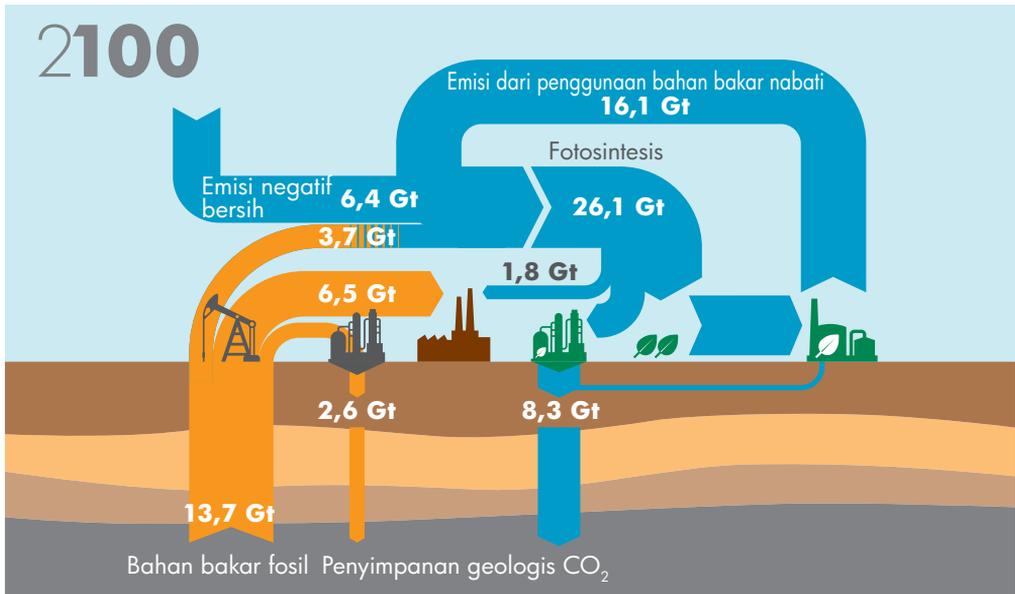
Produksi bahan bakar fosil
 CCS
 Produksi bahan bakar nabati
 Bioenergi dengan CCS
 Karbon dalam produk
 Biomassa tumbuh



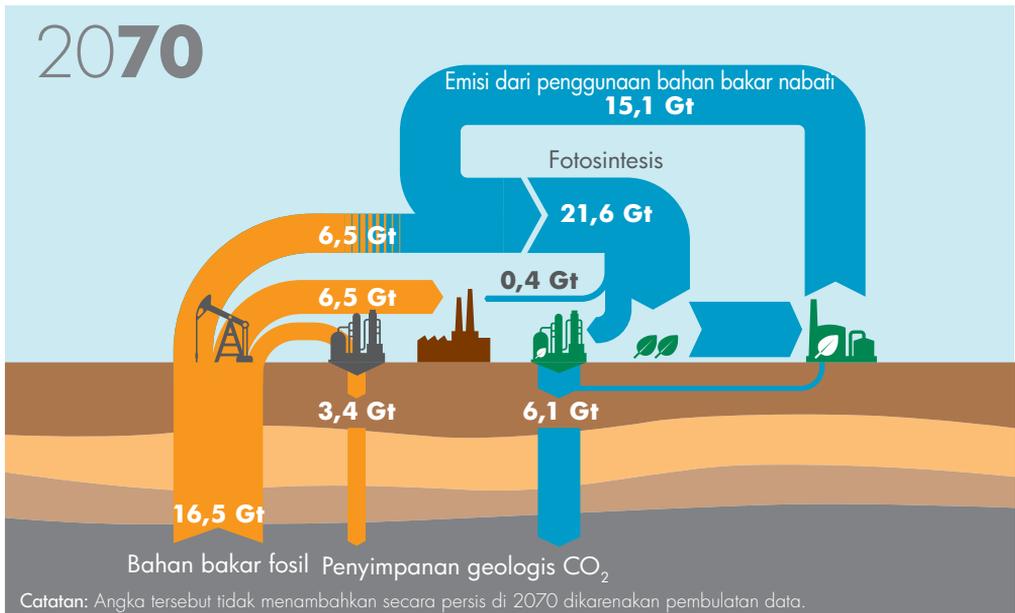
Saat ini, sebagian besar karbon dalam produksi energi fosil dibakar dan dibuang ke atmosfer, sementara itu CO₂ yang diserap pohon dan tanaman lain yang digunakan untuk energi juga dikembalikan ke atmosfer.



Di skenario **Sky**, tahun 2050, skala penyimpanan CO₂ meningkat pesat. Ada kontribusi setara karbon yang disertakan dalam produksi material dan CCS. CCS energi fosil menjadi yang terdepan, tetapi CCS (BECCS) bioenergi menyusul di belakang.



Di skenario **Sky**, pada tahun 2100, sistem bioenergi telah mencapai batas basis sumber dayanya dan dua kali ukuran sistem energi fosil dalam hal CO₂. Manajemen aktif CO₂ berarti sistem energi total memberikan penurunan CO₂ dari atmosfer.

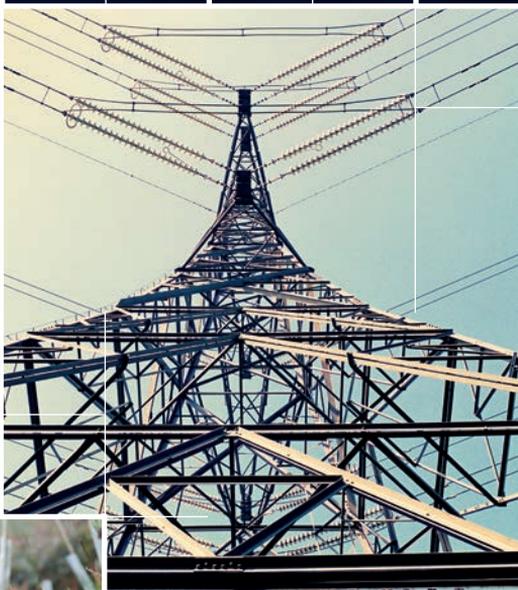


Di skenario **Sky**, pada tahun 2070, sistem energi telah mencapai netzero emissions. Produksi energi fosil kurang dari tingkatnya yang ada sekarang. Disamping CCS langsung dan penggunaan karbon untuk material, emisi energi fosil selebihnya diimbangi sepenuhnya oleh CO₂ yang ditangkap dari perluasan sistem bioenergi.





15 2020 2025 2030 2035 2040 2045





2050

2055

2060

2065

2070

2075

20

BAGIAN 7
REALISASI AMBISI PARIS

7. REALISASI AMBISI PARIS

Di skenario **Sky**, selepas 2070, tingkat penangkapan karbon mendekati sekitar 12 Gt per tahun, tetapi penggunaan bahan bakar fosil terus berkurang. Ini membawa keseluruhan sistem energi ke wilayah emisi negatif, yang menurunkan akumulasi karbon dalam biosfer. Akibatnya, pemanasan memuncak selama 2070-an dan mendatar sampai pertengahan abad.

Menjelang 2100, pemanasan sistem iklim ditahan hingga sekitar 1,75 °C sesuai dengan analisis pakar independen lintasan emisi sistem energi yang dijelaskan oleh skenario **Sky**. Selain itu, industri penghapusan karbon warisan menawarkan peluang untuk restorasi iklim lebih jauh kepada masyarakat abad 22.

Di samping tindakan-tindakan meliputi sistem energi yang diuraikan dalam skenario **Sky**, tindakan reboisasi yang signifikan dan restorasi ekosistem alami (mis. rawa) menawarkan peluang membatasi pemanasan hingga 1,5 °C, yakni ambisi akhir dari Paris Agreement.

Tentu saja, tantangan besarnya adalah apakah ada kemauan politik dan, yang mendasarinya, kemauan masyarakat untuk menempatkan dan mempertahankan kerangka kerja yang diperlukan untuk mempersiapkan tugas terhormat ini – merajut kembali keseluruhan perekonomian global dalam waktu 50 tahun ke depan.

Skenario Sky menguraikan apa yang kita yakini sebagai rute ke depan yang memungkinkan secara teknologi, industri, dan ekonomi. Ini seharusnya memberi harapan – dan mungkin inspirasi – kepada kita semua. Dalam pengertian lebih praktis, mungkin analisis ini bisa memberikan petunjuk berguna pada bidang-bidang fokus perhatian mana saja yang dapat memberikan hasil terbaik.



Masa **depan** bergantung pada yang kita lakukan **saat ini.**

Mahatma Gandhi



Ungkapan terima kasih

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah menyumbangkan pendapatnya secara eksternal dalam pengembangan skenario **Sky**.

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada The Nature Conservancy.

Kami ingin memberikan penghargaan kepada Program Kerja Sama Sains dan dan Kebijakan Perubahan Global Massachusetts Institute of Technology (MIT) yang telah menilai dampak iklim skenario **Sky** dan membandingkannya dengan skenario **Mountains** dan **Oceans**.

Untuk skenario **Sky**, MIT membuat model dampak dengan menggunakan kerangka kerja IGSM mereka (Integrated Global System Modelling/Pemodelan Sistem Global Terintegrasi). Shell telah menyumbang USD100.000 pada Program Kerja Sama ini sebagai pengakuan atas upaya tersebut. MIT akan menerbitkan Laporan Program Kerja Sama atas pekerjaan yang telah diselesaikan.

Pekerjaan ini sebagian berdasarkan data historis World Extended Energy Balances © OECD/IEA 2017 dari International Energy Agency (IEA). Pekerjaan ini telah dipersiapkan oleh Shell International B.V. dan tidak berarti mencerminkan pandangan IEA.

Kunjungi www.shell.com/skyscenario untuk tabel data tambahan dan informasi latar belakang selengkapnya.



Skenario Sky, perluasan skenario **Mountains** dan **Oceans**

GLOSARIUM

Satuan Energi

bcma	billion cubic metre per year (miliar meter kubik per tahun)
GJ	gigajoule (10^9 joule). Joule, J, adalah satuan energi; dibutuhkan 4,2 J untuk memanaskan satu gram air bersuhu 1 °C.
EJ	exajoule (10^{18} joule)
kWh	kilowatt-hour (Ada 3600 J per Wh). Satuan unit Wh lazim digunakan untuk pembangkit listrik dan J lebih banyak untuk energi.
TWh	terawatt-hour (10^{12} watt jam, atau satu triliun watt jam). Satu pembangkit listrik satu GW yang beroperasi selama 300 hari per tahun akan menghasilkan sekitar tujuh TWh.
GW	gigawatt (10^9 watt, satu miliar watt). Pembangkit listrik satu GW adalah ukuran umum untuk instalasi batu bara, gas atau nuklir modern.
Gt	gigatonne (10^9 ton)

Istilah Lainnya

BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage (Bioenergi dengan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon)
CCS	penangkapan dan penyimpanan karbon
CCU	Carbon Capture and Use (Penangkapan dan Penyimpanan Karbon)
EV	Electric Vehicle (Kendaraan Listrik), didefinisikan sebagai kendaraan listrik baterai atau kendaraan listrik hibrid plug-in
FCEV	Fuel-Cell Electric Vehicle (Kendaraan Listrik dengan Sel Bahan bakar)
LPG	Liquefied Petroleum Gas (Gas Minyak Bumi yang Dicairkan)
NBS	Nature-Based Solutions (Solusi Berbasis Alami); penggunaan penggundulan hutan yang dihindari, reboisasi, dan pemulihan ekosistem alami lainnya
NDC	Nationally Determined Contribution (Kontribusi Tetap Nasional); tindakan yang diambil negara-negara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca berdasarkan Paris Agreement
NZE	Net Zero Emissions, yakni keseimbangan antara emisi antropogenik melalui berbagai sumber dan buangan melalui pengurangan gas rumah kaca.
energi primer	pasokan sumber energi yang meliputi minyak, gas alam, batu bara, bioenergi, energi nuklir, dan sumber daya terbarukan Energi primer adalah energi yang diambil dari alam, dalam bentuk siap-pakai pertamanya.
energi final	permintaan pengangkut energi, seperti listrik atau bahan bakar cair, oleh konsumen final, seperti industri, rumah tangga, dan transportasi, bagi seluruh penggunaan energinya. Jika gas alam digunakan untuk alat pemanas rumah, gas dianggap sebagai energi final; jika digunakan untuk menghasilkan listrik di pembangkit listrik, gas dianggap sebagai energi primer.
panel surya	panel fotovoltaik surya yang digunakan untuk pembangkit listrik

SANGGAHAN LEGAL

Buklet ini berisi data dari Skenario **Sky** baru dari Shell. Tidak seperti skenario eksplorasi **Mountains** dan **Oceans** yang dipublikasikan Shell sebelumnya, Skenario **Sky** ditargetkan melalui asumsi bahwa masyarakat mencapai sasaran Paris Agreement dalam menahan suhu rata-rata global agar jauh di bawah 2 °C. Tidak seperti skenario **Mountains** dan **Oceans** dari Shell yang dipaparkan dengan cara terbuka berdasarkan asumsi dan kuantifikasi kredibel, Skenario **Sky** secara spesifik didesain untuk mencapai sasaran Paris Agreement dengan cara yang memungkinkan secara teknis. Semua skenario ini adalah bagian dari proses kontinu yang digunakan di Shell selama lebih dari 40 tahun untuk menantang perspektif para eksekutif mengenai lingkungan bisnis masa depan. Skenario ini didesain untuk memperluas manajemen agar mempertimbangkan kejadian yang kecil kemungkinan terjadinya. Karenanya, skenario-skenario yang ada tidak dimaksudkan menjadi prediksi dari kemungkinan hasil atau kejadian masa depan dan para investor seharusnya tidak bersandar pada skenario tersebut saat membuat keputusan investasi menyangkut sekuritas Royal Dutch Shell plc.

Selain itu, perlu diingat bahwa portofolio Shell yang ada telah dikembangkan berpuluh-puluh tahun. Walaupun kami meyakini portofolio kami luwes pada berbagai macam hal yang mungkin terjadi, termasuk skenario 450 IEA (World Energy Outlook 2016), portofolio ini mencakup aset di seluruh spektrum intensitas energi termasuk yang memiliki intensitas di atas rata-rata. Walaupun kami berusaha menyempurnakan intensitas energi rata-rata operasi kami baik melalui pengembangan proyek baru maupun divestasi, kami tidak memiliki rencana untuk segera berpindah ke portofolio net-zero emissions atas horizon investasi 10-20 tahun kami. Walaupun kami tidak memiliki rencana segera untuk berpindah ke portofolio net-zero emissions, pada bulan November 2017, kami telah mengumumkan ambisi untuk mengurangi jejak karbon bersih kami sesuai dengan implementasi sasaran Paris Agreement oleh masyarakat dalam menahan suhu rata-rata global agar jauh di bawah 2 °C, di atas tingkatnya saat praindustri. Maka, dengan asumsi masyarakat menyesuaikan diri dengan sasaran Paris Agreement, kami berusaha mengurangi jejak karbon bersih kami, yang tidak saja meliputi emisi karbon langsung maupun tidak langsung terkait pembuatan produk energi yang kami jual, tetapi juga emisi pelanggan kami dari penggunaan produk energi mereka yang kami jual, sebesar 20% pada tahun 2035 dan sebesar 50% pada tahun 2050.

Perusahaan-perusahaan dengan investasi yang dimiliki secara langsung dan tidak langsung oleh Royal Dutch Shell plc merupakan entitas-entitas hukum yang terpisah. Dalam buklet ini "Shell", "grup Shell" dan "Royal Dutch Shell" kadang-kadang digunakan agar praktis saat menyebutkan Royal Dutch Shell plc dan anak perusahaannya secara umum. Demikian pula, kata-kata "kami" dan "milik kami" juga digunakan untuk menyebut anak perusahaan Shell secara umum atau pada pihak-pihak yang bekerja untuk mereka. Kata-kata tersebut digunakan pula jika tidak ada kegunaan praktis bila mengenali perusahaan atau perusahaan-perusahaan tertentu. "Anak perusahaan", "anak perusahaan Shell", dan "perusahaan Shell" sebagaimana digunakan dalam buklet ini merujuk pada perusahaan yang dikontrol langsung maupun tidak langsung oleh Royal Dutch Shell plc. Entitas dan aransemen yang tidak disertakan yang dikontrol bersama Shell umumnya masing-masing disebut dengan "usaha patungan" dan "operasi bersama". Entitas yang banyak dipengaruhi oleh Shell tetapi bukan dikontrol atau dikontrol bersama disebut dengan "rekanan". Istilah "kepentingan Shell" digunakan agar praktis untuk menunjukkan kepentingan kepemilikan langsung dan/atau tidak langsung yang dimiliki Shell dalam modal suatu usaha, kemitraan atau perusahaan, setelah mengecualikan semua kepentingan pihak ketiga.

Buklet ini berisi pernyataan pandangan ke depan yang menyangkut kondisi keuangan, hasil operasi dan bisnis Royal Dutch Shell. Semua pernyataan selain pernyataan fakta historis dianggap, atau mungkin dianggap, pernyataan pandangan ke depan. Pernyataan pandangan ke depan adalah pernyataan mengenai harapan di masa depan yang berdasarkan pada harapan dan asumsi manajemen saat ini serta melibatkan risiko yang diketahui maupun tidak diketahui dan ketidakpastian yang dapat menyebabkan hasil, performa atau kejadian aktual untuk membedakan secara materiil dari yang tersurat atau tersirat dalam pernyataan-pernyataan ini. Pernyataan pandangan ke depan di antaranya berisi pernyataan menyangkut kemungkinan risiko yang dimiliki Royal Dutch Shell pada risiko pasar dan pernyataan yang mengungkapkan harapan, keyakinan, estimasi, prakiraan, proyeksi dan asumsi manajemen. Pernyataan pandangan ke depan ini dikenali melalui penggunaan istilah dan frasa seperti "antisipasi", "meyakini", "dapat", "memperkirakan", "harap", "sasaran", "ingin", "mungkin", "tujuan", "pandangan", "rencana", "mungkin", "proyek", "risiko", "jadwal",

“berusaha”, “seharusnya”, “target”, “akan” dan istilah serta frasa serupa. Ada banyak faktor yang dapat memengaruhi operasi mendatang dari Royal Dutch Shell dan dapat menyebabkan hasilnya berbeda secara materiil dari apa yang dinyatakan dalam pernyataan pandangan ke depan yang dimasukkan dalam halaman web ini, termasuk (tetapi tidak terbatas pada): (a) fluktuasi harga minyak mentah dan gas alam; (b) perubahan permintaan untuk produk Shell; (c) fluktuasi mata uang; (d) hasil pengeboran dan produksi; (e) estimasi cadangan; (f) hilangnya pangsa pasar dan persaingan industri; (g) risiko lingkungan dan risiko fisik; (h) risiko yang berhubungan dengan identifikasi properti dan target potensial akuisisi yang cocok, dan negosiasi yang berhasil serta penyelesaian transaksinya; (i) risiko berbisnis di negara berkembang dan negara yang tunduk pada sanksi internasional; (j) pengembangan legislatif, fiskal dan peraturan berisi tindakan regulasi yang menangani perubahan iklim; (k) kondisi ekonomi dan pasar keuangan di berbagai negara dan kawasan; (l) risiko politik, termasuk risiko pengambilalihan dan negosiasi ulang termin kontrak dengan lembaga pemerintah, penundaan atau kemajuan dalam persetujuan proyek serta penundaan dalam penggantian ongkos bersama; dan (m) perubahan kondisi perdagangan. Tidak ada jaminan yang diberikan bahwa pembayaran dividen mendatang akan sama atau melebihi pembayaran dividen sebelumnya. Semua pernyataan pandangan ke depan yang dimuat dalam buklet ini secara tersurat memenuhi syarat secara keseluruhan melalui pernyataan memperingatkan yang dimuat atau dirujuk di bagian ini. Pembaca seharusnya tidak memberikan kepercayaan yang tidak semestinya pada pernyataan pandangan ke depan. Faktor risiko tambahan yang mungkin memengaruhi hasil mendatang dimuat dalam Form 20-F dari Royal Dutch Shell untuk tahun yang berakhir pada tanggal 31 Desember 2017 (tersedia di www.shell.com/investor and www.sec.gov). Semua faktor risiko ini juga secara tersurat memenuhi syarat semua pernyataan pandangan ke depan yang dimuat dalam buklet ini dan seharusnya dipertimbangkan oleh pembaca. Setiap pernyataan pandangan ke depan hanya berbicara mulai tanggal buklet ini [26 Maret 2018]. Baik Royal Dutch Shell plc maupun anak perusahaannya tidak berkewajiban apa pun untuk memperbarui atau merevisi secara terbuka segala pernyataan pandangan ke depan sebagai akibat informasi baru, kejadian masa depan, atau informasi lainnya. Mengingat semua risiko ini, hasil bisa berbeda secara materiil dari

apa yang dinyatakan, tersirat atau disimpulkan dari pernyataan pandangan ke depan yang dimuat dalam halaman web ini.

Kami mungkin telah menggunakan istilah tertentu, misalnya sumber daya, dalam buklet ini yang dilarang keras oleh United States Securities and Exchange Commission (SEC) untuk kami masukkan dalam laporan kami pada SEC. Para investor AS diimbau untuk mempertimbangkan secara tertutup pengungkapan informasi dalam Form 20-F, File No 1-32575 kami yang tersedia di situs web SEC www.sec.gov. Anda juga dapat memperoleh formulir ini dari SEC dengan menghubungi nomor 1-800-SEC-0330.

2020

2025

2030

2035

2040

2045

www.shell.com/skyscenario

© 2018 Shell International B.V.

Semua hak dilindungi. Tidak ada bagian publikasi ini yang boleh diproduksi ulang, disimpan dalam sistem penyimpanan, dipublikasikan atau ditransmisikan, dalam bentuk apa pun atau dengan cara apa pun, tanpa izin tertulis sebelumnya dari Shell International B.V.