

THE BREAKTHROUGH EFFECT IN ASEAN:
CARA MEMICU SERANGKAIAN
***TIPPING POINT* UNTUK MEMPERCEPAT**
PERTUMBUHAN HIJAU ASEAN



ENDORSEMENTS



The green transition is the global growth story of the 21st century. We need to ensure ASEAN as a region seizes the green growth opportunity in the next decade. I urge governments, investors and business leaders in ASEAN to use this foundational study to understand which actions they can prioritize today to drive the level of emissions cuts needed to get us on track for limiting global temperature rise to 1.5C. It is encouraging to see low-carbon solutions in the power and road transportation sectors in ASEAN are already reaching cost parity with high-emitting incumbents. Supporting these technologies even more through enabling policies and smart investments could trigger *tipping points* faster. Working hand in hand across companies and with governments, we can seize this opportunity. The time is now."

SHINTA KAMDANI

Coordinating Vice Chairman for Maritime, Investment and Foreign Affairs at the Indonesia Chambers of Commerce and Industry (KADIN)



The choices made by businesses and governments in the next decade will decide whether Indonesia can tap into its green growth opportunity. This is why at KADIN Net Zero Hub, we have been actively spearheading private sector climate action for a net-zero future. We believe there is no more time to reinvent the wheel, and hence our Hub aims to raise ambitions, share knowledge and data to replicate what works for Indonesian companies to accelerate their transition journey.

The Breakthrough Effect in ASEAN is a foundational piece of work for the Hub. It sets the framework for the conditions and levers to reach sectoral *tipping points* that can unlock ASEAN's green growth. With this framework, private and public sector have a common target to realize – ensuring smarter decisions to effectively translate the vision into action. We look forward to work together with businesses and the government to unlock these *tipping points* for a better ASEAN and a better Indonesia."

DHARSONO HARTONO

Chairman of KADIN Indonesia Net Zero Hub and Legacy Lead of ASEAN Business Advisory Council



The numbers are clear on the funding gap for climate. We should be investing \$2.4 trillion per year in net-zero solutions in emerging economies and developing countries (excluding China). Right now, we are only reaching 20% of this target. While the gap in climate funding ('what') is widely acknowledged, there is less clarity on understanding the reasons ('why') behind it and the strategies ('how') to close this gap. The Breakthrough Effect in ASEAN offers a blueprint by identifying the opportunities for breakthroughs in net-zero solutions within ASEAN and outlines both the reasons ('why') behind seizing these opportunities and the strategies ('how') to unlock them."

MARI PANGESTU

Special Envoy for the G20 Bali Global Blended Finance Alliance, Former World Bank Managing Director of Development Policy and Partnerships



INA focuses on investing in green energy and transformation as part of its commitment to responsible investing. We are committed to support Indonesia in moving towards a sustainable energy future. The Breakthrough Effect in ASEAN helps us in realizing this by identifying opportunities for investments in low-carbon solutions that can create significant growth and value, speeding up the shift towards a net-zero world."

ARIEF BUDIMAN

Deputy CEO of Indonesia Investment Authority (INA)

ENDORSEMENTS



Six of nine planetary boundaries that regulate the stability and resilience of the Earth system have been transgressed – suggesting that Earth is now well outside of the safe operating space for humanity. In the face of these negative climate *tipping points*, we are now also seeing the shift to a low-carbon economy picking up speed. We are finally waking up to the challenges facing all our economies, and governments and businesses are doing more than ever to decarbonize and support a more sustainable kind of growth. However, we are still not moving fast enough. The key now will be getting a critical mass of leaders to drive their nations and industries towards critical positive *tipping points* in adoption of low-carbon solutions, in order to accelerate our transition. The Breakthrough Effect in ASEAN shows how governments and companies can do precisely this, and unlock tremendous opportunities as a result.”

PAUL POLMAN

Board member at Systemiq and co-author of “Net Positive: how courageous companies thrive by giving more than they take”



The original ‘Breakthrough Effect’ report painted a global picture focused on the technological developments which will be relevant across the world. But specific *tipping points* will differ by country or region as global technology trends interact with differences in local renewable resources, consumption patterns and local policy settings. Insights on likely *tipping points* are most actionable when understood at this country/regional specific level. The Breakthrough Effect in ASEAN explores when and where across the region *tipping points* of falling cost or growing demand will create investment opportunities, and sets out the actions that should be taken by governments and companies to accelerate the shift towards a net-zero economy.”

ADAIR TURNER

Chair, Energy Transitions Commission



The UN’s Global Stocktake synthesis report, released in September 2023, shows that despite some progress since the Paris Agreement was forged in 2015, the world is still far off track from reducing emissions enough to keep temperature rise to safe levels. It has a big chance of overshooting 1.5 degrees mark. Indeed, in April 2022 the IPCC said, “it is almost inevitable that we will temporarily exceed this [1.5 °C] temperature threshold but could return to below it by the end of the century.”

How policymakers, business leaders and others respond to the Global Stocktake findings at COP28 will help determine whether the world confronts the climate crisis or continues to fall victim to it.

The Breakthrough Effect in ASEAN is a great analytical reference to understand the most potential low-carbon solutions need to be activated in ASEAN region to help ASEAN policymakers, business leaders and others making right decisions and effective actions in achieving our global climate targets.”

NIRATA ‘KONI’ SAMADHI

Country Director at World Resources Institute (WRI) Indonesia



ASEAN is an important and one of the world’s most climate-vulnerable regions that still heavily relies on fossil fuels. This is where key zero-emissions technologies deployment can help speed up the transition away from the highly emitting incumbents. To do so, however, it requires political decisions and commitment from governments to ensure that there are strong policies and regulations in place to support and accelerate the transition. Energy planners need to understand about these net-zero technologies so that they can be featured in respective long-term energy plans, leaving the highly emitting incumbents behind. “The Breakthrough Effect in ASEAN” report captures exactly what governments and the private sector could do to bring about “*tipping points*” in several key energy sub-sectors in the region.”

FABBY TUMIWA

Executive Director of the Institute for Essential Services Reform

ENDORSEMENTS



Indika Energy is already actively actioning the targets set out at The Breakthrough Effect in ASEAN. At the heart of our ambitious transition vision – getting to net-zero by 2050 and generating at least 50% of our total business from non-coal streams – is to diversify our investments in net-zero solutions. We have diversified to three of the six priority sectors identified in the report namely electric two-wheelers (ALVA), electric buses (INVI), and the power sector through green energy investments. We see net-zero as the only future for us and The Breakthrough Effect in ASEAN has reinforced our commitment. I hope more will join us in tapping into this green growth opportunity, collectively bringing forward positive *tipping points* to accelerate the transition into a net-zero economy.”

AZIS ARMAND

Vice President Director and Group CEO of PT Indika Energy Tbk.



At Adaro, we are committed to support the Indonesian government's commitment to reduce greenhouse gas (GHG) emissions, including measures to achieve net-zero emissions (NZE) by 2060 or earlier. We aim to do by this by transforming into a bigger, greener Adaro by expanding into transition minerals and renewable power such as solar, wind and hydro.

The Breakthrough Effect in ASEAN complements our efforts by pinpointing, both for companies and governments, the opportunities for investments and barriers that must be removed so that change become irresistible and unstoppable for the region's green ecosystem. We look forward to collaborate with fellow partners in the system to action on the targets that has been set out, only together can we seize the green growth potential for ASEAN and for Indonesia.”

DHARMA DJOJONEGORO

CEO at Adaro Power



“Electric two-wheelers are not just an opportunity to decarbonize, but also a huge growth opportunity for Indonesia and for the wider ASEAN region. Looking at The Breakthrough Effect in ASEAN framework, there is definitely a lot of room to improve in terms of hitting both affordability and attractiveness. Existing products are usually affordable but not very attractive, or the other way around. At MAKA Motors, our goal is to develop a product that is both affordable and attractive for Indonesian users. We take an R&D-first approach to ensure we have the best product at the right price. We hope more players in the industry across ASEAN will join us in seizing this huge growth opportunity as the Breakthrough Effect in ASEAN has clearly highlighted.”

RADITYA WIBOWO

Founder and CEO of MAKA Motors



Although ASEAN is one of the most climate-vulnerable regions in the world, it also has massive potential for green growth, industries, and jobs. “The Breakthrough Effect in ASEAN” offers concrete solutions to trigger socioeconomic *tipping points* that could unlock these opportunities in prioritized sectors most relevant to the region. Amazon is the world's largest corporate purchaser of renewable energy, and on a path to powering its global operations with 100% renewable energy by 2025. ASEAN economies can do much more to increase the availability and affordability of renewable energy—and massively scale opportunities for inbound corporate investments in this space in the process. The report identifies specific recommendations in this regard, including leveling the playing field for renewable power project developers, and enabling direct investments (via power purchase agreements) for corporate consumers. We hope ASEAN government leverage corporate consumer demand to boost the renewable energy sector, as this will also bring associated capital, green jobs, the proliferation of green technologies, and a tangible opportunity to meet national climate targets.”

GENEVIEVE DING

Head of Sustainability Strategy Policy for APAC and Japan, co-author of the 2023 Green Economy Report

ENDORSEMENTS



The Breakthrough Effect in ASEAN has immense potential to unlock tipping points in this region. This will help not only to drive decarbonization, but also allow countries in the region to secure their places as leaders in the zero-carbon transition. We know that we need to move from incremental change to systems change that takes off swiftly, and the Bezos Earth Fund is thrilled to support this work that will trigger those transitions.”

KELLY LEVIN

Chief of Science, Data and Systems
Change at the Bezos Earth Fund



The Breakthrough Effect in ASEAN report demonstrates the importance of supporting disruptive technologies to solve climate challenges and the need for catalytic capital from philanthropy to help scale early-stage solutions. ASEAN can be a petri-dish for these solutions to grow at a global scale.”

NG BOON HEONG

CEO of Temasek Foundation



Understanding climate intersectionality is critical in strengthening climate action and in reimagining how climate funding is being mobilized. “The Breakthrough Effect in ASEAN” has conveyed this message very clearly, putting a spotlight on intersectionality across high-emitting sectors. It underscores how high-emitting sectors of the economy do not exist in isolation – they are highly inter-connected, and zero emission solutions in one sector can influence transitions in multiple sectors simultaneously.

As Asia's number 1 social investor network, AVPN have actively promoted this understanding through our Climate Pathfinders program. The program aims to help decision-makers of philanthropic organizations and other grant-making bodies to propel progress in critical areas to reshape the regional policy agenda and enable the more effective deployment of capital towards climate action. We look forward to leveraging “The Breakthrough Effect in ASEAN” insights to collectively galvanize public-private-philanthropic actions into the transition, mobilizing capital smarter and more strategically to accelerate the region's green growth.”

TRISTAN ACE

Chief Product Officer of AVPN

TENTANG THE BREAKTHROUGH EFFECT IN ASEAN

Laporan *The Breakthrough Effect in ASEAN: Bagaimana memicu serangkaian tipping point untuk mempercepat pertumbuhan hijau ASEAN (The Breakthrough Effect in ASEAN: How to trigger a cascade of tipping points to accelerate ASEAN's Green Growth)* dibuat oleh Systemiq dan Kamar Dagang dan Industri Indonesia (KADIN) Net Zero Hub, dan didukung oleh Bezos Earth Fund.

Laporan ini merupakan tindak lanjut regional dari laporan *The Breakthrough Effect* global yang menunjukkan bagaimana bagian-bagian dari perekonomian global dapat bergerak cepat menuju nol emisi, dengan dampak yang luas di 10 sektor dengan emisi tertinggi, dengan cara mengidentifikasi *tipping point*—suatu ambang batas kritis yang, jika dilewati, akan membawa perubahan besar dan tidak dapat diubah—sosial-ekonomi yang positif di solusi nol karbon untuk sektor-sektor tertentu. Laporan ini mengidentifikasi dua *super-leverage point* (titik dengan pengaruh/kekuatan pendorong yang besar), yaitu kebijakan atau tindakan spesifik, yang dapat mempercepat pertumbuhan hijau di kawasan ASEAN dengan memicu serangkaian *tipping point* di 8 sektor yang mewakili 50% emisi ASEAN.

Tim penyusun laporan ini antara lain Abindra Soemali, Nicholas Omar, Widharmika Agung, Mark Meldrum, Daniel Kurniawan, dan Mossele Ambarita dengan masukan dan keahlian yang signifikan dari Octavianus Bramantya (KADIN Net Zero Hub), Lloyd Pinnell, Leonardo Buizza, Jason Martins, Phillip Lake, Carolien van Marwijk Kooij, Achim Teuber, dan Tilmann Vahle (Systemiq).

Kami sangat berterima kasih kepada para pihak yang telah bermurah hati menyumbangkan waktu dan keahliannya dalam wawancara guna menyusun laporan ini, yaitu Dharma Djojonegoro (Adaro Power), Shihab Ansari Azhar (International Finance Corporation), Kartik Gopal (International Finance Corporation), Yoga Adwinarto (Desmobi), Ryosuke Fujjoka (ASEAN-Japan Economic & Industrial Cooperation Committee), Fabby Tumiwa (Institute for Essential Services Reform), Deon Arinaldo (Institute for Essential Services Reform), Raditya Wibowo (MAKA Motors), Clorinda Wibowo (World Resources Institute Indonesia), Rezky Khairun Zain (World Resources Institute Indonesia), I Made Vikannanda (World Resources Institute Indonesia), Yudithia (Adidas), Sheila Shek (Adidas), Sapphira Anya (H&M), Hapsari Saraswati Widya (H&M), Siripha Junlakarn (Energy Research Institute), Priscilia (Meratus), Brigita Darminto (University of Oxford), Jephraim Manansala (Institute for Climate and Sustainable Cities), Golda Hilario (Institute for Climate and Sustainable Cities), Baskara Rosadi Van Roo (Electrum), dan Zulfikar Yurnaidi (ASEAN Centre for Energy).

Para kontributor dan organisasinya tidak serta merta mendukung seluruh temuan atau rekomendasi dalam laporan.

TENTANG SYSTEMIQ

Systemiq, sebuah perusahaan yang berkecimpung di bidang perubahan sistem, didirikan pada tahun 2016 untuk mempercepat pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*) dan Persetujuan Paris, dengan mentransformasi pasar dan model bisnis dalam lima sistem kunci: alam dan pangan, material dan sirkularitas, energi, kawasan perkotaan, dan keuangan berkelanjutan. Sebagai perusahaan yang tersertifikasi B Corp, Systemiq mengkombinasikan konsultasi strategis dengan pekerjaan lapangan yang berdampak besar, dan bermitra dengan dunia usaha, keuangan, pembuat kebijakan, dan masyarakat sipil untuk mewujudkan perubahan sistem. Systemiq memiliki kantor di Brazil, Perancis, Jerman, Indonesia, Belanda, dan Inggris.

TENTANG KADIN NET ZERO HUB

Kamar Dagang dan Industri Indonesia (KADIN) berkomitmen terhadap gerakan *net zero* (nol bersih). Selain mendeklarasikan janjinya sebagai Organisasi *Net Zero*, KADIN juga memulai inisiatif yang sekarang dikenal dengan nama KADIN Net Zero Hub yang berfungsi sebagai jembatan antara gerakan global dan perusahaan-perusahaan Indonesia. KADIN menyadari bahwa banyak hal yang harus dipahami oleh perusahaan-perusahaan yang ingin bergabung dalam gerakan *net zero* global, dan itulah alasan KADIN Net Zero Hub didirikan.

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF	9	BAGIAN 4: TIPPING CASCADES DAN SUPER LEVERAGE POINT	54
Konteks	10	<i>Leverage points</i>	58
<i>Tipping point</i> sektor	11	<i>Super-leverage points</i>	59
<i>Tipping cascades</i>	13	<i>Super-leverage point 1: Mandat kendaraan nol emisi bagi kendaraan bermotor roda dua dan bus</i>	59
Aksi kunci	14	<i>Super-leverage point 2: Mandat energi terbarukan di kawasan industri pengolahan nikel untuk meningkatkan penggunaannya dalam tenaga listrik dan pemanasan rendah karbon</i>	60
BAGIAN 1: CARA KERJA TIPPING POINT	17	BAGIAN 5: AKSI KUNCI UNTUK MEMUNCULKAN TIPPING POINT DI ASEAN	62
Sejarah dan contoh terbaru	18	Peluang dan risiko utama	69
<i>Tipping points</i> dapat dipicu dengan menangani tiga aspek utama: keterjangkauan, daya tarik, dan aksesibilitas	22	LAMPIRAN A: KUMPULAN STUDI KASUS	72
Teknologi terobosan	24	LAMPIRAN B: LAMPIRAN TEKNIS	80
BAGIAN 2: MENGIDENTIFIKASI TIPPING POINT POSITIF UNTUK KAWASAN ASEAN	27		
Mengapa ASEAN?	28		
Ruang lingkup <i>The Breakthrough Effect in ASEAN</i>	30		
BAGIAN 3: SEKILAS TENTANG TIPPING POINT SEKTORAL ASEAN	36		
Ketenagalistrikan	37		
Transportasi jalan raya: Kendaraan listrik roda dua (E2W)	43		
Transportasi jalan raya: Bus listrik (e-bus)	45		
Pemanasan di industri: <i>Heat pump</i> dan ETES	47		
Pelayaran	53		



RINGKASAN EKSEKUTIF



KONTEKS

Tahun 2023 akan menjadi tahun terpanas yang pernah tercatat.¹ Di berbagai belahan dunia, kita telah melihat adanya peningkatan bencana terkait iklim mulai dari kebakaran hutan di Kanada hingga banjir di Cina. Bagi ASEAN, dampak perubahan iklim sangat relevan karena kawasan ini merupakan salah satu kawasan yang paling rentan terhadap perubahan iklim di dunia. Myanmar, Filipina, Thailand, dan Vietnam sudah termasuk di antara 10 negara di dunia yang paling menderita kerugian dalam hal manusia dan materi akibat peristiwa cuaca terkait iklim selama 20 tahun terakhir.²

Di tengah kerusakan-kerusakan iklim ini, kini kita melihat transisi menuju perekonomian rendah karbon semakin cepat. *Tipping point* sosial-ekonomi yang positif untuk solusi iklim meningkat dengan pesat—menawarkan peluang untuk secara cepat meningkatkan penerapan solusi nol-emisi, mengurangi emisi secara drastis, memisahkan perekonomian dari bahan bakar fosil yang tidak stabil, dan menciptakan industri dan lapangan pekerjaan hijau (ramah lingkungan) dalam prosesnya. Hal yang terlihat jelas dari tren ini adalah bahwa agar ASEAN dapat membuka potensi pertumbuhan hijaunya, mengambil tindakan terhadap iklim tidak "hanya" akan menjadi sebuah biaya ekonomi, melainkan sebuah peluang untuk membuka bentuk-bentuk pertumbuhan yang baru dan lebih baik. Untuk mewujudkan pertumbuhan hijau, salah satu *leverage point* (titik pengaruh/pengungkit) terbesarnya adalah untuk berfokus pada pemicuan *tipping point* sosial-ekonomi yang positif.

***Tipping point* sosial-ekonomi muncul ketika serangkaian kondisi terpenuhi, yang memungkinkan teknologi atau praktik baru yang rendah karbon untuk mengungguli solusi-solusi intensif karbon yang sudah ada.** Setelah *tipping point* terlewati, solusi-solusi baru mulai diadopsi pada skala pasar massal, adopsi ini hanya mendorong perbaikan lebih lanjut, dan solusi-solusi yang lama akan tertinggal.

***Tipping point* sosial-ekonomi bukanlah hal baru; ini adalah cara pasar bekerja.** Berbagai contoh dalam sejarah transisi teknologi yang cepat menunjukkan bahwa solusi-solusi baru dapat mengambil alih pasar hanya dalam kurun waktu beberapa tahun. Dalam beberapa kasus, peningkatan pesat dalam adopsi terjadi setelah ambang batas keterjangkauan relatif terlampaui (misalnya, subsidi di India yang menjadikan bus listrik lebih terjangkau). Peralihan ini juga sering kali didukung oleh solusi baru yang lebih menarik bagi pelanggan karena alasan non-biaya (misalnya, kendaraan listrik roda dua di Cina memiliki jangkauan yang lebih baik sehingga meningkatkan daya tarik pasar) atau jika kemudahan aksesnya tersebar luas

(misalnya pembangunan infrastruktur telekomunikasi di Indonesia yang memungkinkan tingkat penetrasi ponsel pintar yang tinggi).³

TEKNOLOGI RENDAH KARBON MENGALAMI KEMAJUAN SETIAP TAHUNNYA—BIAYANYA SEMAKIN MENURUN DAN KINERJANYA SEMAKIN MENINGKAT. PELUANG YANG ADA SEKARANG ADALAH BAGI ASEAN UNTUK MEMANFAATKAN DAN MENDUKUNG TEKNOLOGI-TEKNOLOGI INI UNTUK MEMICU *TIPPING POINT* DI KAWASAN.

Pada tahun 2021, tenaga surya dan bayu telah menjadi sumber energi baru termurah di 90% negara-negara di dunia dan menyumbang >75% dari semua penambahan kapasitas baru secara global.⁴ Pangsa kendaraan listrik baterai melonjak dari kurang dari 5% pasar mobil pada tahun 2020 menjadi 14% pada tahun 2022, karena kendaraan listrik sudah memiliki biaya seumur hidup yang lebih murah dibandingkan kendaraan berbahan bakar solar/bensin dan bahkan akan lebih murah untuk diproduksi pada tahun 2025. Pertanyaannya adalah: peluang apa yang ada di ASEAN untuk memanfaatkan teknologi baru, untuk menciptakan *tipping point* di kawasan ini? Laporan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kemungkinan gelombang pertama *tipping point* di kawasan ASEAN dan menyoroti *tipping point* tersebut sebagai target yang harus dicapai serta menggambarkan dengan tepat kondisi dan faktor pendorong/tuas pengungkit (*lever*) untuk mencapainya. Dengan kerangka kerja dan wawasan ini, laporan ini bertujuan untuk membantu pemerintah, perusahaan dan investor untuk melihat peluang serta mendorong mereka mengambil tindakan yang diperlukan untuk memicu *tipping point* dan membuka kunci menuju pertumbuhan hijau.

¹ Bloomberg (2023), "This Year Is Already on Track to Be the Hottest Ever Recorded."

² Germanwatch (2018), Global Climate Risk Index 2019.

³ Lihat Gambar 1 dan 2 pada Bagian 1.

⁴ BloombergNEF (2022), Energy Transition Factbook 2022.

TIPPING POINT SEKTOR

Di ASEAN, solusi rendah karbon di sektor ketenagalistrikan dan transportasi jalan raya mencapai kesetaraan biaya dengan solusi lama yang intensif karbon; mendukung teknologi ini dapat memicu tipping point.

Sama seperti negara-negara lain di dunia, ASEAN mengalami penurunan biaya teknologi di berbagai solusi rendah karbon. Namun, daya saing solusi-solusi ini di suatu negara atau wilayah sangat dipengaruhi oleh kebijakan lokal dan kondisi pasar. Poin utamanya cukup jelas: terdapat peningkatan insentif ekonomi untuk beralih dari praktik-praktik beremisi tinggi yang juga menjadi praktik-praktik berbiaya lebih tinggi.

Di sektor ketenagalistrikan ASEAN, kesetaraan biaya telah tercapai untuk beberapa tipping point.⁵ Sebagai contoh, biaya listrik yang dirata-ratakan atau LCOE (*levelized cost of electricity*) pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) baru sudah lebih murah dibandingkan LCOE pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara (PLTU)/gas (PLTGU) baru di beberapa negara—yaitu Vietnam, Thailand, Malaysia, dan Filipina—dan sudah bisa lebih murah di negara-negara lainnya—yaitu Kamboja, Myanmar, Laos, dan Indonesia—jika kondisi yang tepat diterapkan. Perbedaan antar negara ini sebagian besar berasal dari ketidakpastian pasar yang lebih tinggi di beberapa negara karena lemahnya lingkungan kebijakan pendukung. Untuk menganalisis dan memahami dengan lebih baik kondisi saat ini dan kemajuan sektor ketenagalistrikan di masing-masing negara ASEAN, penting untuk mengelompokkan negara-negara tersebut ke dalam dua kelompok:⁶ 1) lingkungan kebijakan pendukung yang lebih kuat, dan 2) lingkungan kebijakan pendukung yang lebih lemah.

Untuk memunculkan tipping point dan membuka adopsi kurva S PLTS dan PLTS + baterai pada kelompok kedua, diperlukan perubahan pada lingkungan kebijakan pendukung. Perubahan-perubahan ini tidak selalu berupa dukungan finansial langsung terhadap proyek-proyek awal untuk menjadikannya primadona pasar, namun ada juga langkah-langkah non-biaya yang penting seperti: 1) menyederhanakan proses pengadaan energi terbarukan melalui lelang kompetitif yang terstandarisasi dan menyederhanakan perizinan, 2) mendukung pengembangan lokasi dan pembebasan lahan untuk proyek tenaga surya, dan 3) memperbarui aturan pasar untuk mempertimbangkan dan mendukung aset PLTS dan PLTS + baterai dengan tepat.

Di sektor transportasi jalan raya di ASEAN, kendaraan listrik roda dua (*electric two-wheelers/E2W*) sudah mencapai kesetaraan dengan kendaraan bermesin pembakaran internal (*internal combustion engine/ICE*) dalam hal biaya kepemilikan total (*total cost of ownership/TCO*). Namun, status adopsi E2W di ASEAN masih baru, E2W hanya menguasai ~2% pasar pada tahun 2021.⁷ Hal ini sebagian besar disebabkan oleh harga beli unit baru yang lebih tinggi dibandingkan kendaraan ICE, masalah aksesibilitas (misalnya infrastruktur pengisian daya, baik pengisi daya plug-in publik maupun stasiun penukaran baterai), dan aspek daya tarik (misalnya *branding* dan jaminan kualitas, serta pilihan pembiayaan yang murah, khususnya untuk pasar ritel). Artinya, perusahaan-perusahaan—baik itu perusahaan rintisan dan regional, OEM E2W global, maupun pemain lama ICE 2W—baru-baru ini mulai memasuki pasar, terutama di Indonesia, Vietnam, dan Thailand yang mewakili 90% armada 2W ASEAN saat ini.

Armada, seperti jasa tumpangan, pesan-antar makanan, dan logistik, diperkirakan menjadi penggerak pertama untuk adopsi pasar secara dini karena keunggulan kompetitifnya dalam pengadaan E2W. Pasar ritel kelas atas juga diperkirakan akan mengikuti tren ini ketika kesadaran akan merek dan jaminan kualitas produk E2W semakin meningkat. Karena sebagian besar negara ASEAN memiliki target elektrifikasi 100% 2W yang ambisius pada tahun 2035/2040, dukungan fiskal yang lebih besar dari pemerintah (misalnya subsidi pembelian atau OEM) diharapkan akan menurunkan harga kendaraan menjadi setara dengan harga ICE 2W—peningkatan investasi manufaktur di ASEAN juga dapat menurunkan harga E2W karena negara-negara di kawasan ini biasanya dapat menikmati berbagai insentif pajak, termasuk pembebasan pajak impor. Ketersediaan tarif & pilihan pembiayaan yang lebih baik karena meningkatnya kepercayaan pemberi pinjaman (risiko yang dianggap lebih rendah) terhadap produk juga akan mempercepat elektrifikasi pasar E2W ritel secara massal di ASEAN.

Bus listrik juga diperkirakan akan menjadi lebih murah dibandingkan bus diesel konvensional berdasarkan TCO dalam beberapa tahun ke depan, yang didorong oleh semakin menurunnya biaya baterai dan pembiayaan yang lebih baik. Dua tantangan utama dalam adopsi bus listrik saat ini adalah kebutuhan modal biaya di muka (*upfront cost capital*) yang tinggi dan armada bus diesel yang ada saat ini masih relatif muda, sehingga sulit untuk mengkonversi semua armada secara cepat. Namun, keberadaan model bisnis/pembiayaan yang inovatif, yang

⁵ Ada empat *tipping point* untuk PLTS dan PLTS+baterai di sektor ketenagalistrikan. Hal ini akan dijelaskan dan dibahas di pendalaman sektoral dari sektor ketenagalistrikan (halaman 37-42).

⁶ Pengelompokan ini juga mempertimbangkan status penerapan tenaga surya (pada akhir tahun 2022) sebagai proksi kematangan pasar, perencanaan *variable renewable energy* (VRE) dalam rencana pembangunan tenaga listrik di tiap negara, dan juga skor *Regulatory Indicators for Sustainable Energy* (RISE) oleh World Bank (diadaptasi dari ADB et al. (2023). *Renewable Energy Manufacturing: Opportunities for Southeast Asia*).

⁷ McKinsey & Company (2023). *The real global EV buzz comes on two wheels*.

memisahkan kepemilikan aset (misalnya, model sewa-dan-mengoperasikan (*lease and operate*)), dapat membantu operator mengurangi kebutuhan biaya di muka yang tinggi. Menerapkan mandat bagi bus listrik yang dimulai dari hal kecil dan dalam skala tertentu juga penting untuk mendorong operator melakukan penerapan untuk pertama kalinya agar terbiasa dengan teknologi tersebut dan bersiap untuk adopsi massal ketika *tipping point* tercapai.

Di sektor-sektor lain yang dikaji dalam laporan ini, seperti pemanasan di industri dan pelayaran, solusi teknologi rendah karbon tergolong masih belia, meskipun berkembang dengan pesat. Mengingat tahapannya saat ini, untuk memajukan solusi di sektor-sektor ini sekarang fokusnya harus pada mendukung penerapan komersial pertama.

Di sektor pemanasan di industri di ASEAN, adopsi solusi elektrifikasi langsung rendah karbon masih dalam tahap awal. Pemanasan pada temperatur rendah (<150 °C) dapat menggunakan *heat pump* (pompa kalor) industri, dan solusi ini dapat mencapai biaya pemanasan yang dirata-ratakan atau LCOH (*levelized cost of heat*) yang kompetitif terhadap gas atau batu bara dalam waktu yang singkat di negara-negara tertentu. Penggantian penuh *boiler* berbahan bakar fosil dengan rasio 1:1 secara teknis layak untuk dilakukan dan mungkin layak juga secara ekonomi, meskipun hal ini sangat bergantung pada aplikasi panas proses industri tertentu dan kebutuhan suhu pemanasannya (misalnya, uap bertekanan tinggi untuk sterilisasi dalam industri makanan adalah kasus penggunaan yang baik). Dalam konteks tertentu, *heat pump* juga dapat menjadi langkah efisiensi energi yang menarik untuk dekarbonisasi sementara.

Pemanasan pada temperatur sedang hingga tinggi (150–600 °C) menggunakan penyimpanan energi elektro-termal (*electric-thermal energy storage/ETES*) saat ini berada pada tahap dini komersialisasi, walaupun penerapannya secara komersial sedang dimulai. ETES, yang juga dikenal dengan “baterai panas,” dapat terhubung langsung ke energi terbarukan di luar jaringan listrik (*off-grid*); dan jika pasokan listrik terkait tersedia, solusi ini dapat menjadi kompetitif. Nilai ekonominya akan semakin meningkat ketika solusi ini dirancang untuk menghasilkan gabungan antara panas & listrik.

Di sektor pelayaran, bahan bakar cair alternatif akan diperlukan untuk pelayaran jarak jauh melalui laut dalam, sedangkan elektrifikasi melalui mesin listrik dengan baterai atau sel bahan bakar hidrogen adalah untuk pelayaran jarak pendek. Meskipun terdapat beragam pilihan, amonia hijau dan metanol hijau diperkirakan akan memainkan peran terbesar. Mengingat adanya batasan dalam hal pasokan tambahan yang dimiliki oleh produksi metanol hijau, yaitu kebutuhan akan sumber CO₂ yang berkelanjutan, amonia hijau dipilih sebagai bahan bakar fokus dalam penelitian ini.

Dalam hal penggunaan amonia hijau untuk pelayaran, kontribusi ASEAN dalam produksinya diperkirakan akan terbatas. Keterbatasan ini timbul karena sumber daya energi terbarukan yang relatif terbatas di kawasan ini, sehingga kurang kompetitif dalam produksi hidrogen hijau yang hemat biaya dibandingkan dengan negara-negara seperti Australia, yang memiliki pembangkit listrik tenaga surya berbiaya lebih rendah. Alih-alih produksi, ASEAN diposisikan untuk memainkan peran strategis sebagai penerima manfaat dari koridor pelayaran hijau (ramah lingkungan). Pada dasarnya, ASEAN berperan sebagai fasilitator penggunaan amonia hijau sebagai bahan bakar pelayaran. Hal ini karena ASEAN secara strategis terletak di persimpangan rute pelayaran utama, yang menyumbang setidaknya 10% dari volume pelayaran global. Singapura, khususnya, akan memainkan peran penting dalam konteks ini, karena saat ini negara tersebut menyumbang lebih dari 20% permintaan *bunkering* global. Selain itu, infrastruktur amonia yang ada di pelabuhan-pelabuhan ASEAN menggarisbawahi pentingnya kawasan ini dalam mendukung upaya dekarbonisasi sektor pelayaran global.

Pemrosesan nikel akan menjadi hal penting dalam rantai nilai untuk transisi energi. Teknologi rendah karbon, khususnya baterai yang menggunakan teknologi bahan aktif katoda (*Cathode Active Material/CAM*) memerlukan nikel kelas I. Dua negara di ASEAN, Indonesia & Filipina adalah produsen utama nikel, dengan produksi yang ada mencakup ~10% penambangan nikel global dan ~25% cadangan nikel global. Di kawasan ini, ~\$50 miliar telah diinvestasikan dalam rantai nilai nikel selama 5 tahun terakhir.

Peningkatan permintaan nikel harus dipenuhi dengan metode pengolahan nikel rendah karbon yang memanfaatkan listrik terbarukan dan energi panas dari hasil elektrifikasi. Dengan menggunakan rute produksi nikel yang diproyeksikan, mewajibkan penggunaan energi terbarukan di kawasan industri terkait nikel dapat menciptakan permintaan sebesar ~1,7 hingga 2,8 GW solusi rendah karbon untuk tenaga listrik, tergantung dari skenarionya.

Saat ini, kedua solusi rendah karbon tersebut masih menghadapi hambatan dalam adopsinya secara massal di pasar. Hal ini dapat diatasi dengan model bisnis inovatif untuk *variable renewable energy (VRE)*, seperti metode sewa dengan biaya modal minimum. Dengan pemilihan waktu yang tepat, kawasan ASEAN dapat lebih lanjut membuka kondisi yang mendukung tenaga listrik dan panas industri menengah hingga tinggi, sehingga menciptakan efek *cascading* (aliran berjenjang) ke dalam ekosistem solusi rendah karbon.

TIPPING CASCADES

The Breakthrough Effect in ASEAN telah mengidentifikasi dua super-leverage point yang mampu memicu serangkaian tipping point di delapan sektor yang mewakili 50% emisi ASEAN.

Titik pengungkitan (*leverage point*) adalah suatu titik di mana sebuah intervensi kecil dapat menghasilkan dampak yang besar. “*Super-leverage point*” yang diidentifikasi di dalam laporan ini tidak hanya mengurangi emisi di satu sektor kunci, tetapi juga mendukung perubahan yang lebih cepat di bagian-bagian lain dalam perekonomian.

Sektor-sektor ekonomi dengan emisi tinggi tidak bisa berada secara terpisah dari satu sama lain – sektor-sektor tersebut saling terkait, dan solusi rendah karbon dapat mempengaruhi transisi di berbagai sektor secara bersamaan. Sebagai contoh, permintaan kendaraan listrik mendorong permintaan baterai *lithium-ion*, sehingga menurunkan biayanya. Baterai dengan biaya yang lebih rendah membantu sektor ketenagalistrikan untuk melakukan dekarbonisasi dengan menurunkan biaya solusi PLTS/PLTB + baterai penyimpanan.

Keterkaitan antar sektor menunjukkan bahwa upaya yang terfokus untuk melewati *tipping point* di satu sektor dapat meningkatkan peluang untuk memicu *tipping point* di sektor lain, sehingga menghasilkan “*tipping cascades*”—serangkaian *tipping point* yang terjadi akibat terpicunya *tipping point* di suatu sektor. Laporan ini juga memperkenalkan konsep “*super-leverage point*,” yaitu kebijakan atau tindakan spesifik dengan biaya yang relatif rendah, dan berpotensi untuk memicu *tipping point* di satu sektor yang dapat mendukung *tipping point* di sektor-sektor lain.

Dua “*super-leverage point*” telah diidentifikasi untuk kawasan ASEAN:

- 1. Mandat untuk menggunakan kendaraan nol-emisi bagi kendaraan roda dua dan bus:** Kebijakan ini dapat mempercepat transisi ke kendaraan listrik, khususnya di sektor transportasi jalan raya, sehingga menciptakan permintaan akan baterai, dan memberikan dampak positif pada sektor ketenagalistrikan dan transportasi darat angkutan berat.
- 2. Mandat untuk menggunakan energi terbarukan dalam pemrosesan nikel di kawasan industri:** Peralihan ke sumber energi panas dan listrik rendah karbon dalam produksi nikel dapat menimbulkan efek cascading pada sektor ketenagalistrikan dan pemanasan di industri yang lebih luas untuk sektor-sektor lain.

Laporan ini telah memaparkan *tipping point* sektoral utama yang dapat membuka kunci untuk pertumbuhan hijau di ASEAN. Laporan ini juga telah menguraikan dengan tepat kondisi dan faktor pendorong/pengungkit untuk mencapainya, menciptakan sebuah kerangka kerja bagi para pemangku kepentingan untuk bekerjasama mewujudkannya. Mengingat posisi kawasan ASEAN yang unik dalam hal kerentanan dan peran strategisnya dalam dekarbonisasi global, kami yakin bahwa ASEAN dapat memainkan peran terdepan dan berkembang pesat dalam membangun ekonomi industri ramah lingkungan – yang memberikan manfaat ekonomi, kesehatan, dan lingkungan secara bersamaan.










PILIHAN YANG DIAMBIL OLEH NEGARA-NEGARA ASEAN DALAM DEKADE MENDATANG AKAN MENENTUKAN APAKAH KAWASAN INI DAPAT MEMANFAATKAN PELUANG PERTUMBUHAN HIJAU.



AKSI KUNCI

Titik-titik aksi yang spesifik telah diidentifikasi baik untuk sektor publik dan swasta di seluruh *tipping point* sektor yang diprioritaskan, yang menyumbang 39% dari total emisi gas rumah kaca ASEAN (lihat Gambar ES-1). Aksi-aksi ini dapat berupa dukungan kebijakan hingga intervensi pasar yang mempengaruhi perilaku ekonomi, dinamika pasar, dan praktik industri untuk solusi rendah karbon.

Gambar ES-1a. Ringkasan enam sektor prioritas di ASEAN dan aksi kunci untuk memicu serangkaian tipping point di ASEAN.

Sektor, emisi [MtCO ₂ e] (%ASEAN)	Solusi rendah karbon	Kondisi pendukung tipping point ¹			Aksi kunci
					
Ketenagalistrikan²  675 (25%)	PLTS + baterai penyimpanan energi	GROUP 1			Pemerintah: Menciptakan lingkungan kebijakan dan regulasi yang mendukung untuk memungkinkan percepatan pemanfaatan <i>variable renewable energy</i> (VRE). Aksi kunci yang spesifik termasuk: 1) menetapkan target yang ambisius untuk adopsi VRE (menuju tercapainya <i>net-zero</i>) dan menyederhanakan strategi nasional untuk penghentian bertahap penggunaan batu bara, 2) meningkatkan aturan/desain pasar dengan menyingkirkan hambatan (contohnya, mengatasi kelebihan kapasitas) dan memberikan dukungan untuk adopsi VRE, 3) berinvestasi pada infrastruktur jaringan listrik untuk meningkatkan keandalan jaringan, dan 4) menerapkan <i>power wheeling</i> guna meningkatkan aksesibilitas energi terbarukan untuk pasar <i>captive</i> . Sektor swasta: Terus berinvestasi pada manufaktur PLTS dan baterai lokal untuk mengamankan rantai pasokan lokal dan menekan harga lokal; serta mengembangkan koalisi pasar untuk produk-produk yang menggunakan listrik rendah karbon.
		GROUP 2			
Kendaraan roda dua  100 (4%)	Kendaraan listrik roda dua (E2W)				Pemerintah: Menyalurkan subsidi yang ditargetkan untuk mendukung penelitian dan pengembangan serta manufaktur untuk OEM untuk mendorong daya saing harga unit baru. Sektor swasta: Menyediakan pembiayaan dengan biaya yang rendah untuk kendaraan listrik roda dua dan terus berinvestasi pada manufaktur baterai dan E2W.
Bus  70 (2%)	Bus listrik (e-bus)				Pemerintah: Membuat kerangka regulasi untuk memungkinkan penerapan model bisnis yang inovatif (misalnya model sewa dan mengoperasikan (<i>lease and operate</i>) dan model <i>Mobility-as-a-Service</i>); menyalurkan subsidi yang ditargetkan untuk mendukung penelitian dan pengembangan serta manufaktur bagi OEM guna mendorong daya saing harga unit baru. Sektor swasta: Menjajaki pembiayaan inovatif untuk bus listrik, seperti skema pembiayaan karbon yang diterapkan di Thailand, yang bekerjasama dengan Swiss di bawah ketentuan Pasal 6.2 dari Peretujuan Paris (lihat bagian 3 tentang bus listrik untuk lebih detailnya).
Pemanasan di industri  105 (4%)	<i>Heat pumps</i>				Pemerintah: Memberikan dukungan regulasi dan pembiayaan untuk elektrifikasi pemanasan secara langsung. Aksi kunci yang spesifik mencakup: 1) memberikan insentif (misalnya, tarif listrik preferensial untuk pemanasan yang bersih, hibah, insentif) bagi pemanasan yang bersih atau memberikan disinsentif bagi solusi lama (misalnya, pajak karbon untuk bahan bakar petahana/lama), 2) meningkatkan efisiensi energi/kuualitas udara/standar emisi di sektor industri, 3) menetapkan mandat bagi kawasan industri untuk melakukan elektrifikasi pemanasan; dan 4) khusus untuk ETES, menyederhanakan perizinan untuk pembangkit listrik <i>captive</i> , termasuk memungkinkan penerapan <i>power wheeling</i> untuk pembangkitan listrik <i>off-site</i> dengan VRE. Sektor swasta: Mendorong upaya pengenalan teknologi <i>air-source industrial heat pump</i> dan ETES; menyediakan dukungan pembiayaan berbiaya rendah untuk elektrifikasi langsung (misalnya, oleh pembeli (<i>off-taker</i>) utama); serta membangun koalisi pasar untuk produk-produk yang menggunakan pemanasan rendah karbon.
	<i>Electric-thermal energy storage (ETES)</i>				
Pelayaran  65 (3%)	Amonia hijau untuk bahan bakar pelayaran				Pemerintah: Menerapkan peraturan lingkungan hidup yang lebih ketat dan pajak karbon pada pelabuhan-pelabuhan internasional untuk memberikan insentif dan mempercepat peralihan ke pelayaran rendah karbon; mulai mengidentifikasi Zona Ekonomi Khusus yang potensial untuk mengembangkan koridor hijau di kawasan ASEAN. Sektor swasta: Membangun koalisi pasar untuk produk-produk yang menggunakan pelayaran rendah karbon.
Pemurnian mineral  30 (1%)	VRE + baterai dan ETES				Pemerintah: Menerapkan mandat untuk menggunakan listrik dan proses pemanasan yang bersih (ramah lingkungan) untuk pemurnian mineral kritis. Sektor swasta: Mengidentifikasi lokasi yang potensial untuk menerapkan teknologi rendah karbon.

 Keterjangkauan
  Daya tarik
  Aksesibilitas

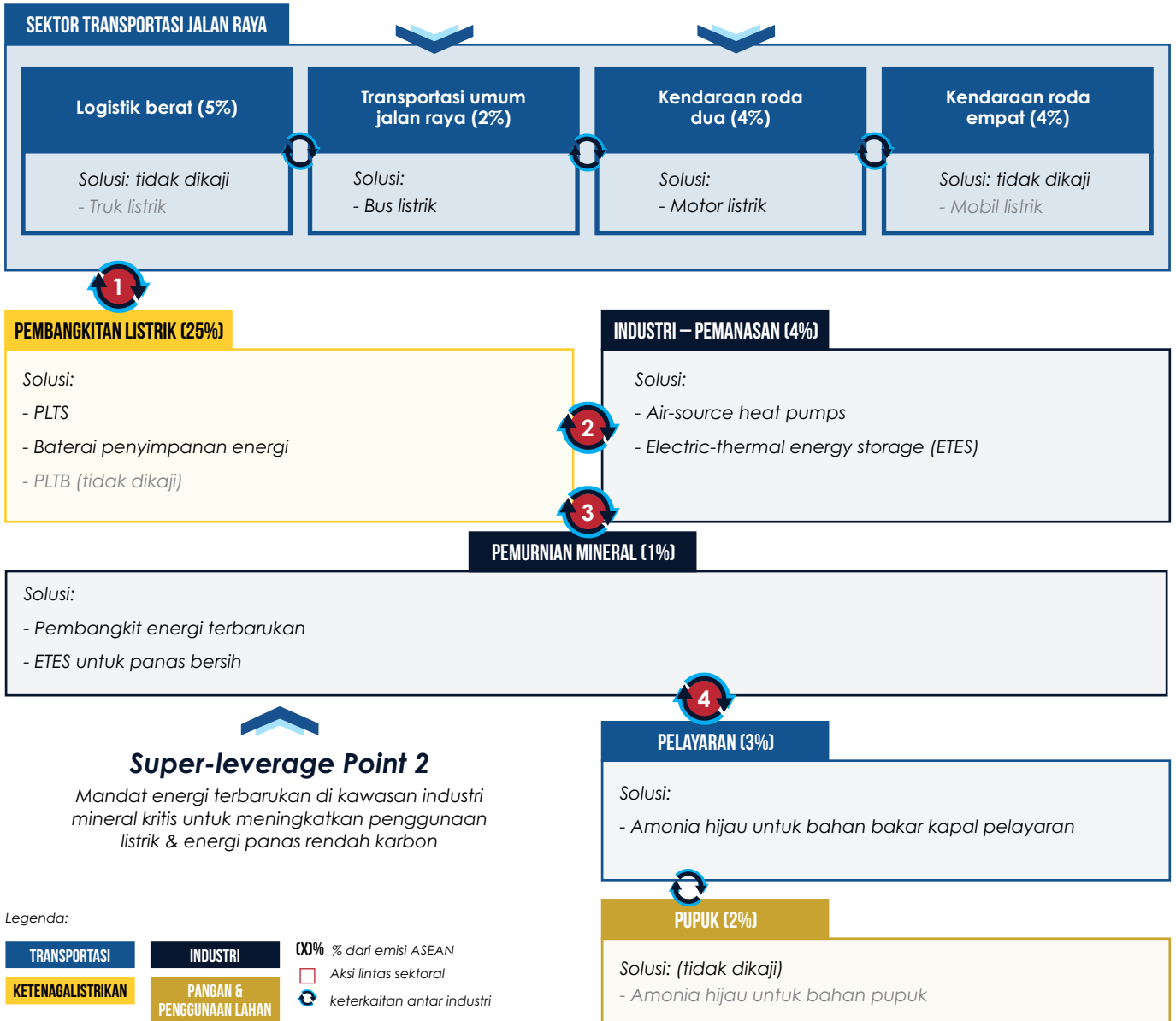
Sumber: Analisis Systemiq. Catatan: 1 Pedoman pemeringkatan kondisi pendukung tipping point: Keterjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga tercapai, Kuning tua – Kesetaraan harga dapat tercapai dengan bantuan lever sebelum 2030, Merah – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi tipping point, Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi tipping point, namun kemajuan pesat sedang terjadi, Merah – Saat ini ada hambatan bagi tipping point dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas. Silakan lihat Bagian 3 untuk detail lebih lanjut mengenai penilaian ini. 2 Analisis pada sektor ketenagalistrikan dibagi menjadi dua kelompok: Negara dengan lingkungan kebijakan pendukung yang lebih kuat (G1) dan negara dengan lingkungan kebijakan pendukung yang lebih lemah (G2). Lihat Bagian 3 untuk informasi lebih detail.

Gambar ES-1b. Super-leverage point dan aksi kunci lintas sektoral yang diidentifikasi untuk memicu *tipping cascades* di berbagai sektor

TITIK SUPER-LEVERAGE DAN AKSI KUNCI LINTAS SEKTORAL

Super-leverage Point 1

Mandat kendaraan nol-emisi (ZEV) untuk kendaraan roda dua dan bus (30% mandat ZEV menimbulkan minimal ~75 GWh permintaan baterai)



Super-leverage Point 2

Mandat energi terbarukan di kawasan industri mineral kritis untuk meningkatkan penggunaan listrik & energi panas rendah karbon

AKSI KUNCI LINTAS SEKTORAL:

- 1** Melanjutkan investasi & pengembangan industri baterai
- 2** Membangun kemampuan manufaktur lokal untuk PLTS
- 3** Memberikan insentif bagi kawasan industri untuk mendorong penggunaan listrik bersih dan elektrifikasi langsung untuk energi panas
- 4** Mengidentifikasi Zona Ekonomi Khusus potensial untuk menerapkan teknologi rendah karbon

CARA KERJA TIPPING POINT

***Tipping point* sosial-ekonomi yang positif dapat tercipta ketika solusi-solusi baru melewati ambang batas keterjangkauan, daya tarik, atau aksesibilitas dibandingkan dengan solusi-solusi lama.**

Kemajuan terhadap *tipping point* seringkali didorong oleh putaran umpan balik penguat dalam pengembangan dan penyebaran solusi baru, di mana peningkatan produksi menghasilkan kinerja yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah, yang pada akhirnya akan menyebabkan adopsi yang lebih besar dan produksi yang lebih banyak. Putaran umpan balik penguat ini dapat didorong oleh berbagai dampak, misalnya, efek belajar sambil melakukan, skala ekonomi, munculnya teknologi yang saling melengkapi, dan penyebaran norma-norma sosial baru (Lihat Box 1).

Ketika sebuah *tipping point* tercapai, umpan balik penguat ini menjadi lebih kuat dibandingkan umpan balik penyeimbang (seperti ada perlawanan dari petahana/solusi lama) yang selama ini menolak perubahan. Konsumen, produsen, dan investor dengan tegas beralih ke teknologi baru, dan tidak melihat lagi ke belakang. Transisi ini memperoleh momentum percepatan diri. Ketika hampir tercapai, *tipping point* dapat dipicu oleh intervensi kecil yang mengubah keseimbangan kompetisi antara teknologi baru dan teknologi lama.⁸

⁸ T. M. Lenton (2020), "Tipping positive change," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.

SEJARAH DAN CONTOH TERBARU

Tipping point sosial-ekonomi bukanlah hal baru; ini adalah cara pasar bekerja.

Sejarah penuh dengan contoh transisi cepat yang membuktikan bahwa solusi baru dapat ditingkatkan dari aplikasi khusus menjadi adopsi total di suatu pasar hanya dalam kurun waktu 1-2 dekade.⁹ Barang-barang manufaktur yang kompleks dan umum, seperti mobil, lemari es, dan *microwave*, telah mengalami hal serupa dalam rentang waktu tersebut dan bahkan dalam kasus infrastruktur besar atau sistem energi, pola serupa telah terlihat. Dalam kasus lain, transisi ke solusi baru terjadi dalam jangka waktu yang lebih lama, sehingga menyoroti perlunya tindakan bersama untuk mempercepat laju perubahan solusi nol emisi agar dapat diperbesar skalanya tepat waktu untuk mencapai tujuan iklim global.

Bagi banyak solusi baru, terdapat bukti bahwa peningkatan pesat dalam penerapan terjadi setelah beberapa ambang batas keterjangkauan relatif terlampaui, seringkali didukung oleh peningkatan ketersediaan atau daya tarik. Lihat Gambar 1 dan 2 di bawah untuk data AS dan Inggris mengenai kurva adopsi untuk sampel infrastruktur dan sistem energi serta barang-barang manufaktur—penjelasan pendukung disajikan dalam laporan [global Breakthrough Effect report](#).

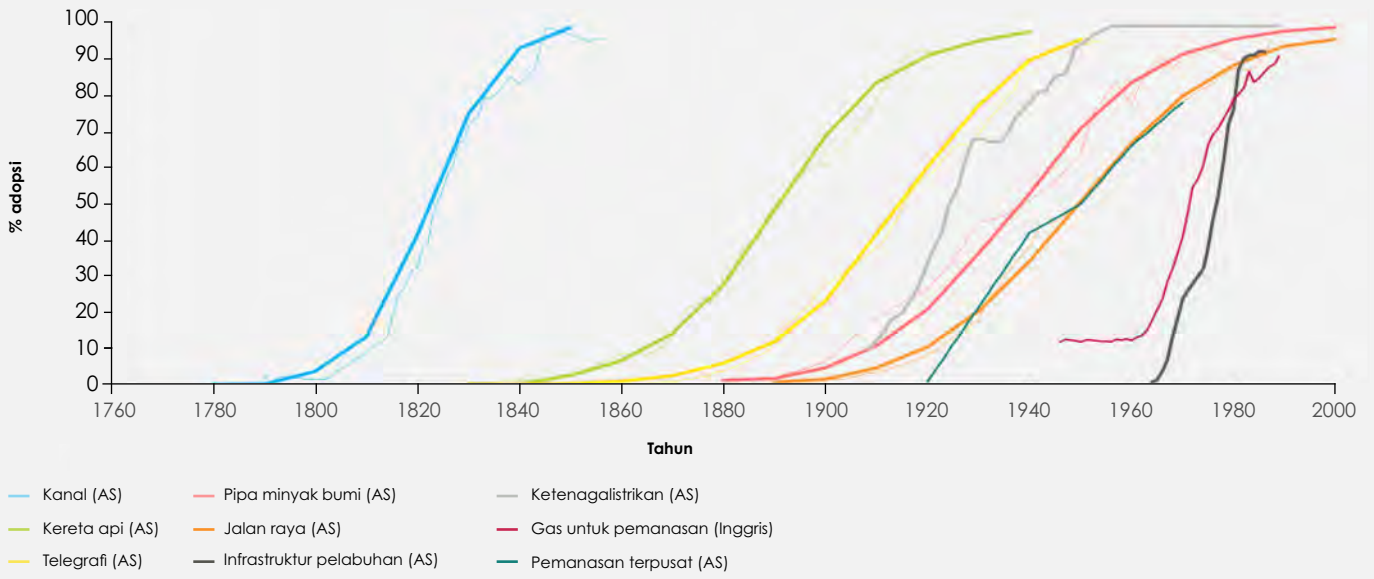
Transisi industri dan ekonomi skala besar seringkali dimulai dengan inovasi teknologi yang disruptif.

Jenis solusi baru pada awalnya digunakan di segmen pasar khusus (*niche market*), di mana solusi tersebut menawarkan peningkatan penting dibandingkan dengan solusi lama. Setelah mencapai *tipping point*, hal ini dapat berkembang menjadi adopsi massal di pasar dan meluas ke pasar lain, yang secara radikal membentuk kembali perekonomian dalam prosesnya. Sebagai contoh, penemuan dan penyempurnaan mesin uap memicu perluasan penambangan batu bara secara besar-besaran dan terciptanya jaringan transportasi kereta api di Inggris. Hal ini mendorong terjadinya revolusi industri.¹⁰ Fenomena serupa mungkin saja terjadi seiring dengan munculnya energi terbarukan yang berbiaya rendah. Hal ini dapat mempercepat datangnya era baru elektrifikasi dalam perekonomian karena semakin banyak sektor yang mencapai *tipping point*-nya berkat tenaga listrik nihil karbon yang lebih murah dan lebih mudah diakses.

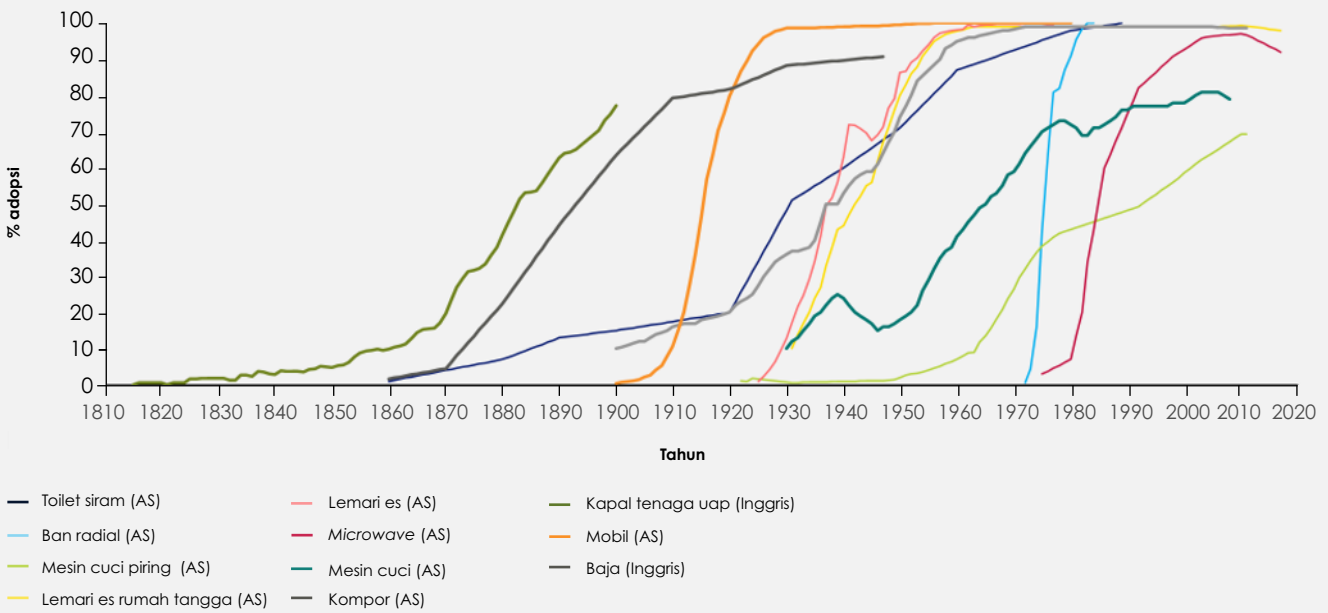
⁹ Lihat Box 2 for stages of technology adoptions.

¹⁰ A. Smith et al. (2005), "The governance of sustainable socio-technical transitions," *Research Policy*.

Gambar 1. Adopsi historis dari contoh infrastruktur dan sistem energi



Gambar 2. Adopsi historis dari contoh barang manufaktur



BOX 1. PUTARAN UMPAN BALIK PENGUAT (REINFORCING FEEDBACK LOOPS)

Tipping point bergantung pada putaran umpan balik yang menentukan perilaku semua sistem dinamis, termasuk sektor perekonomian. Putaran umpan balik penguat terjadi ketika peningkatan suatu variabel menyebabkan peningkatan lebih lanjut pada variabel yang sama. Contohnya, penerapan teknologi yang lebih besar akan menyebabkan biaya yang lebih rendah, dan biaya yang lebih rendah akan membawa kepada penerapan yang lebih besar lagi. Dinamika ini mampu mendorong pertumbuhan eksponensial dalam adopsi teknologi baru. Umpan balik penyeimbang terjadi ketika peningkatan suatu variabel menyebabkan penurunan pada variabel yang sama. Sebagai contoh, kebijakan yang mendorong penerapan solusi baru dapat menimbulkan reaksi negatif dari solusi lama, sehingga menyebabkan kebijakan menjadi lebih lemah.

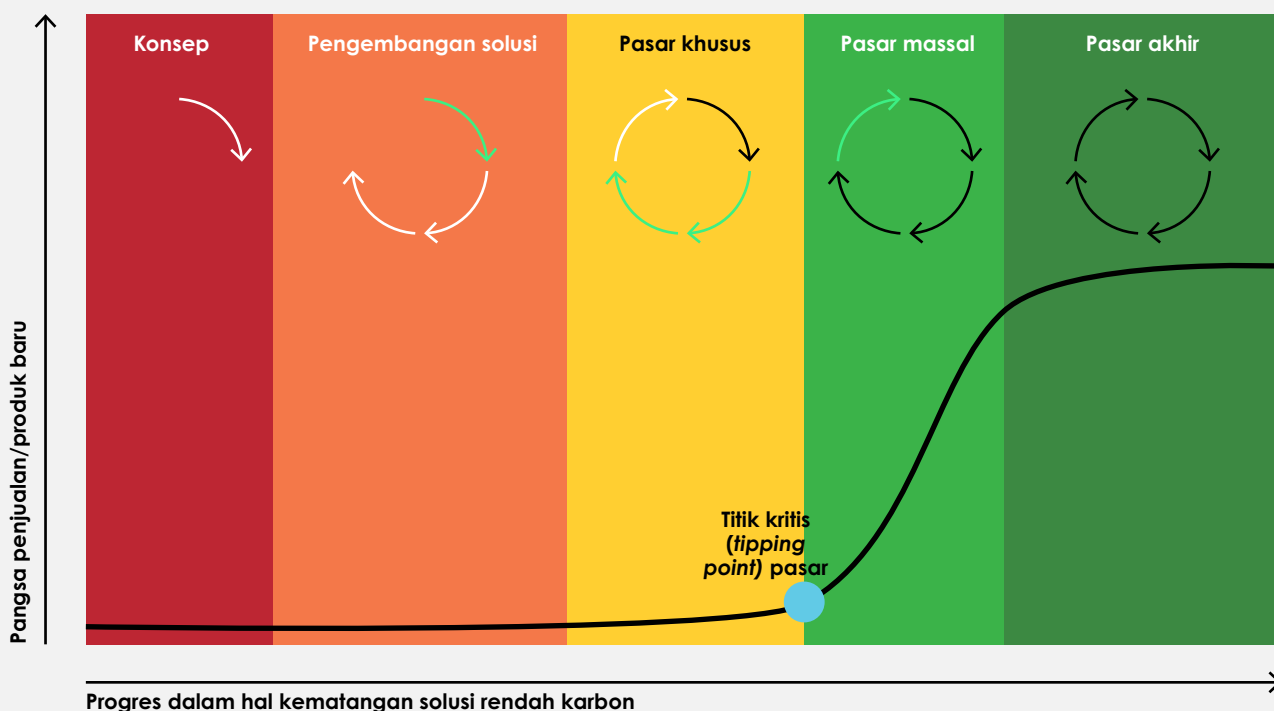
Interaksi kedua jenis putaran umpan balik ini menciptakan bentuk "kurva S" yang khas dari transisi teknologi. Pada awal transisi, umpan balik penguat dapat mendorong pengembangan teknologi baru, namun pada saat yang sama, umpan balik penyeimbang mendominasi perilaku sektor ini karena teknologi dan model bisnis yang lama memiliki ketahanan terhadap upaya untuk menggantinya.

Pada *tipping point*, umpan balik penguat mengalahkan umpan balik penyeimbang, mendorong pertumbuhan eksponensial dalam adopsi solusi baru, dan penurunan penggunaan solusi lama. Setelah melewati titik ini, transisi kemungkinan besar tidak dapat dibatalkan, dan akan tetap berjalan meskipun terdapat volatilitas dalam jangka pendek (misalnya, kemacetan rantai pasokan), meskipun lajunya masih dapat dipengaruhi oleh banyak faktor.

Ada beberapa jenis putaran umpan balik penguat yang berbeda. Putaran umpan balik ini akan sering muncul secara bersamaan. Jenis yang paling penting termasuk:

- **Belajar sambil melakukan:** ketika penerapan suatu teknologi menghasilkan inovasi yang lebih besar yang membuat produk menjadi lebih baik dan menurunkan biaya seiring optimalisasi produksi, hal ini meningkatkan manfaat bersih dan mendorong penerapan lebih lanjut.
- **Skala ekonomi:** Ketika peningkatan skala produksi menyebarkan biaya tetap pada volume yang lebih besar, dan mengarah pada pembagian kerja yang lebih efektif, hal ini menurunkan biaya produksi per unit dan pada akhirnya mendorong peningkatan tingkat adopsi.
- **Penguatan teknologi:** Semakin banyak sesuatu digunakan, semakin banyak pula teknologi atau praktik tambahan yang muncul yang membuatnya lebih berguna.
- **Efek jejaring dan koordinasi:** Ketika semakin banyak pelaku ekonomi yang melakukan tindakan serupa, semakin besar keuntungan yang diperoleh pihak lain yang melakukan hal serupa.
- **Ekspektasi yang memperkuat diri sendiri:** Ketika ekspektasi terhadap ukuran pasar di masa depan memicu investasi yang menumbuhkan pasar, sehingga memenuhi/melebihi ekspektasi dan memicu investasi lebih lanjut.
- **Penularan norma sosial:** Ketika solusi baru dapat menyebar dengan cepat melalui komunikasi sosial setelah melewati adopsi mayoritas awal (juga disebut sebagai Teori Difusi Inovasi Rogers).

BOX 2. LIMA TAHAP ADOPSI TEKNOLOGI MENUJU KEMATANGAN PASAR



Lima tahap adopsi teknologi menuju kematangan pasar

- 1. Konsep:** Inovasi tahap awal mendorong pengembangan solusi baru. Tahap ini memerlukan masa percobaan untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan sebelum pilihan yang layak dapat diidentifikasi, dimana program penelitian dan pengembangan yang didanai publik melengkapi eksperimen sektor swasta.
- 2. Pengembangan solusi*:** Solusi diujicobakan pada skala demonstrasi untuk menunjukkan bukti konsep, seringkali melalui kemitraan publik-swasta. Tahap ini memerlukan dukungan keuangan publik yang kuat untuk mengurangi risiko investasi pada proyek-proyek komersial *first-of-a-kind* (FOAK) (misalnya, melalui pinjaman dan hibah lunak, dukungan pasar awal, dan lain-lain).
- 3. Pasar khusus (*niche market*)*:** Solusi diadopsi oleh para pengguna awal, menghubungkan penawaran dan permintaan untuk memberikan skala awal. Tahap ini memerlukan pembentukan dan pertumbuhan basis konsumen serta peningkatan daya saing solusi; koalisi pembeli dan pendanaan campuran/hijau sangat penting untuk meningkatkan penerapannya.
- 4. Pasar massal (*mass market*)*:** Solusi mencapai adopsi mayoritas dini karena solusi tersebut mengungguli solusi lama (permulaan dari bagian curam kurva S). Perolehan keuntungan yang ditunjukkan mendorong partisipasi pasar yang lebih luas, didukung oleh perluasan akses terhadap modal seiring dengan realokasi pembiayaan dari solusi lama ke solusi baru. Tahap ini memerlukan perancangan ulang pasar yang mendukung solusi baru melalui kerangka peraturan dan skema baru untuk menginisiasi penghentian solusi lama.
- 5. Pasar akhir:** Solusi mencapai tahap adopsi skala besar. Pada tahap ini fokusnya beralih ke pelembagaan, seperti menetapkan dan menegakkan standar baru dan mengelola dampak penurunan industri.

*] Untuk analisis sektoral, **hanya tahap dua hingga empat** yang akan diperhitungkan karena kita ingin melihat adopsi suatu solusi sebelum *tipping point*.

TIPPING POINT DAPAT DIPICU DENGAN MENANGANI TIGA ASPEK UTAMA: KETERJANGKAUAN, DAYA TARIK, DAN AKSESIBILITAS

KETERJANGKAUAN

Variabel penting dalam kaitannya dengan tipping point adalah daya saing biaya, yang sangat bergantung pada skala.

Ketika teknologi atau praktik baru bermunculan, biayanya seringkali mengalami penurunan tajam seiring dengan peningkatan produksinya. Fenomena ini, yang disebut sebagai "Hukum Wright", memperkirakan bahwa biaya mengalami penurunan sebagai fungsi dari produksi kumulatif, yang didorong oleh umpan balik penguat dari belajar sambil melakukan dan skala ekonomi. Hasil akhirnya adalah waktu dan sumber daya yang diperlukan untuk setiap unit produksi berikutnya menjadi lebih sedikit.

Lebih jauh lagi, ketika solusi baru mendekati kesetaraan biaya dengan alternatif yang ada, muncul insentif untuk realokasi keuangan dari aset sistem lama ke aset sistem baru. Hal ini dapat meningkatkan biaya modal untuk sistem lama dan mempercepat peralihan dari sistem lama ke sistem baru.

Kebijakan pemerintah yang tepat sasaran dapat mempercepat penurunan biaya teknologi. Misalnya, program subsidi pemerintah India kepada produsen peralatan asli (*Original Equipment Manufacturer/OEM*) untuk memberikan insentif pada pembelian kendaraan listrik dan hibrida terbukti mempercepat adopsi teknologi tersebut. Hasilnya, penjualan bus listrik mengalami peningkatan sebesar 308% pada tahun 2019 diikuti oleh peningkatan sebesar 250% pada tahun berikutnya. Pertumbuhan skala ini mendorong penurunan biaya per unit.

Selain itu, kecepatan penurunan biaya sangat bergantung pada karakteristik solusi yang dimaksud.

Teknologi yang menunjukkan penurunan biaya paling tajam seiring dengan peningkatan *output* cenderung merupakan teknologi yang berukuran kecil dan mudah ditiru. Karena teknologi ini tidak terlalu rumit untuk diproduksi dan memiliki masa pakai yang lebih pendek, teknologi ini biasanya mengalami tingkat pembelajaran dan penyebaran pengetahuan yang lebih cepat seiring dengan peningkatan produksi. Perusahaan mempunyai peluang yang lebih besar untuk memperbaiki proses produksi yang terus-menerus dilakukan.¹¹

DAYA TARIK:

Selain biaya, manfaat non-biaya atau peningkatan kinerja relatif terhadap solusi yang ada juga sangat penting.

Solusi baru seringkali harus memiliki sifat-sifat tertentu yang membedakannya dari solusi lama dalam berbagai dimensi selain biaya, seperti kualitas atau keandalan yang lebih tinggi, atau kemampuan baru. Pada tahap awal penerapan, hal ini menjadi sangat penting agar solusi baru bisa mendapatkan pijakan di pasar. Segmen pasar khusus (*niche market*) yang memprioritaskan sifat-sifat ini dapat mengadopsi solusi tersebut meskipun terdapat kelemahan dalam hal biaya pada tahap awal. Sebagai contoh, pembeli awal kendaraan listrik sebagian besar tertarik dengan nilai kebaruannya dan "kredensial ramah lingkungan" yang ditawarkan dan bersedia membeli dengan harga premium yang cukup besar dibandingkan mobil konvensional.¹² Hal ini terbukti di Cina, di mana

¹¹ C. Wilson et al. (2020), "Granular Technologies to Accelerate Decarbonization," *Science*.

¹² Bain & Company (2019), *Tipping Points: When to Bet on New Technologies*.

kendaraan listrik roda dua memperoleh pijakan awal berkat polusi udara yang lebih rendah, yang segera mencapai *tipping point*, kemudian menghentikan penggunaan kendaraan roda dua bermesin pembakaran internal dalam waktu dua dekade dan mencapai kejenuhan pasar pada tahun 2016.

Munculnya undang-undang dan peraturan baru juga mempunyai pengaruh besar terhadap daya tarik solusi-solusi baru. Misalnya, sistem perdagangan emisi (*Emission Trading System/ETS*) telah terbukti secara ilmiah mempunyai korelasi positif terhadap pemanfaatan energi terbarukan.¹³

Pergeseran sosial-ekonomi dan budaya yang lebih luas juga dapat menyebabkan produk tertentu memperoleh relevansi dan daya tarik. Contohnya, pergeseran budaya menuju kenyamanan digital dan gaya hidup *mobile-first* telah menyebabkan meluasnya adopsi *e-commerce* di Asia Tenggara, dengan tingkat adopsi yang hampir mencapai adopsi penuh baik di konsumen perkotaan maupun di pinggiran kota.¹⁴

AKSESIBILITAS

Banyak jenis solusi baru yang memerlukan ketersediaan infrastruktur pendukung sebelum adopsi skala besar dapat dilakukan.

Untuk teknologi yang memungkinkan berbagai penggunaan di hilir, pengembangan infrastruktur pendukung yang diperlukan akan membuka jalan menuju penerapan skala besar, sehingga menggeser sistem ke era baru. Membangun pembangkit energi terbarukan, serta jaringan transmisi dan distribusi, misalnya, merupakan kunci untuk memungkinkan elektrifikasi di berbagai sektor yang banyak mengkonsumsi energi di bidang transportasi, industri, dan bangunan. Pembangunan infrastruktur telekomunikasi di Indonesia telah menghasilkan ~80% tingkat penetrasi ponsel pintar pada tahun 2023 dan diperkirakan akan mencapai 91% pada tahun 2028, sehingga memungkinkan layanan daring seperti jasa tumpangan (*ojek* atau *taksi online*) dan *e-commerce* diadopsi secara luas di wilayah ini.¹⁵

Gambar 3. Kerangka kerja *tipping point*

	 KETERJANGKAUAN	 DAYA TARIK	 AKSESIBILITAS
DEFINISI	Variabel penting dalam kaitannya dengan <i>tipping point</i> adalah daya saing biaya dari solusi rendah karbon, yang sangat bergantung pada skala.	Manfaat non-biaya/finansial atau peningkatan kinerja dari solusi rendah karbon dibandingkan dengan solusi lama.	Berbagai solusi rendah karbon memerlukan infrastruktur pendukung sebelum diadopsi dalam skala besar.
PENDORONG	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya teknologi (biaya awal dan biaya kepemilikan total) • Subsidi pendukung (di pasar mula-mula) • Biaya peralihan atau kompleksitas 	<ul style="list-style-type: none"> • Keandalan teknologi • Dorongan dari pasar atau konsumen • Perubahan perilaku di industri • Kesesuaian antara produk dan pasar 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketersediaan infrastruktur • Ketersediaan teknologi di kawasan
CONTOH	Inisiatif FAME India, telah meningkatkan keterjangkauan terhadap bus listrik, sehingga menghasilkan biaya kepemilikan total bus listrik yang lebih baik melalui subsidi untuk OEM resmi.	Para pembeli awal kendaraan listrik roda dua (E2W) di Cina terdorong oleh kesesuaian produk dan pasar dalam hal rentang tempuh kendaraan, dan akhirnya E2W menghentikan penggunaan kendaraan dengan mesin pembakaran internal pada tahun 2016.	Pembangunan infrastruktur telekomunikasi di Indonesia memungkinkan layanan daring seperti jasa tumpangan (<i>ojek/taksi online</i>) dan <i>e-commerce</i> untuk diadopsi secara luas di wilayah ini.

¹³ M. Yu et al. (2017), "Impact of Emissions Trading System on Renewable Energy Output," *Procedia Computer Science*.

¹⁴ Google, Temasek, and Bain & Company, (2022), *e-Conomy SEA (Southeast Asia) 2022*

¹⁵ Tingkat penetrasi telepon pintar di Indonesia dari tahun 2019 hingga 2021 dengan prakiraan hingga tahun 2028; Statista (2023).

TEKNOLOGI TEROBOSAN

Efek umpan balik penguat yang dijelaskan di atas mendorong pengurangan biaya secara cepat pada beberapa teknologi yang penting bagi transisi rendah karbon. Harga energi surya dan bayu telah turun secara signifikan dalam 10 tahun terakhir, sebagian besar disebabkan oleh adanya praktik pembelajaran sambil melakukan (*learning-by-doing*) dan dampak skala ekonomi yang dimungkinkan oleh kebijakan yang menciptakan pasar dan sifat teknologi yang dapat direplikasi. Seiring dengan turunnya harga, permintaan akan energi terbarukan meningkat, sehingga menarik lebih banyak perusahaan untuk memasuki pasar dan bersaing untuk menurunkan biaya lebih rendah lagi. Fenomena yang sama juga terjadi pada teknologi modular lainnya yang memanfaatkan dan memungkinkan energi terbarukan berbiaya rendah, termasuk, yang terpenting, baterai dan elektroliser hidrogen.

Sebagian besar proyeksi telah secara sistematis meremehkan tingkat pengurangan biaya untuk teknologi ini, terutama karena kurangnya apresiasi terhadap kekuatan umpan balik penguat. Sebagai contoh, perkiraan rata-rata pengurangan biaya tahunan untuk pembangkit listrik tenaga surya dari tahun 2010-2020 adalah sebesar 2,6% (dengan maksimum sebesar 6%), sedangkan angka realisasi selama periode ini sebenarnya mencapai 15% per tahun.¹⁶ Faktor-faktor jangka pendek seperti kemacetan rantai pasokan dapat mengganggu tren ini, seperti yang terlihat pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) pada tahun 2012-2014, namun hal ini memberikan insentif yang kuat bagi dunia usaha untuk menemukan solusi terhadap tantangan-tantangan ini dan melanjutkan pengurangan biaya. Beberapa ahli berpendapat bahwa sebagian besar proyeksi biaya saat ini masih meremehkan potensi pengurangan biaya di tahun-tahun mendatang dibandingkan dengan tren secara historis.¹⁷

PLTS & PLTB: Sumber energi ini kini menjadi **sumber listrik baru termurah** di negara-negara yang mewakili 90% pembangkitan listrik.¹⁸ Jika tren yang ada saat ini terus berlanjut, tenaga surya akan menjadi pembangkit listrik termurah hampir di seluruh dunia dalam 5 tahun ke depan, bahkan ketika biaya penyimpanan energinya ditambahkan.¹⁹

Baterai: Biaya sel baterai *lithium-ion* menurun sebesar 97% dalam tiga dekade terakhir, dengan **biaya yang berkurang hingga setengahnya hanya dalam waktu empat tahun** dari tahun 2014-2018.²⁰ Biayanya kemungkinan besar akan terus turun secara signifikan karena meningkatnya permintaan kendaraan listrik akan mendorong produksi pada skala yang lebih besar, dengan 150 pabrik berskala giga yang beroperasi secara global saat ini dibandingkan dengan lima tahun yang lalu yang hanya ada satu pabrik.²¹

Elektroliser: Biaya elektroliser—inti teknologi untuk memproduksi hidrogen ramah lingkungan—telah turun sebesar 50% dalam 10 tahun terakhir. Saat ini kita melihat percepatan pesat dalam rencana penerapan di seluruh dunia, dengan **peningkatan kapasitas terpasang sebesar ~80% pada tahun 2021**, dan ada 680 proposal proyek hidrogen skala besar yang kini telah siap.²² Biaya produksi hidrogen hijau diperkirakan akan turun 50–60% pada tahun 2030, yang berarti bahwa mencapai harga US\$2/kg tanpa subsidi bisa dilakukan dalam lima tahun ke depan.²³

Heat pump: Biaya *heat pump*—walaupun berbeda-beda menurut aplikasi, geografi, dan pasarnya—telah menurun dengan *learning rate* global sebesar 10% dalam literatur.²⁴ IEA memproyeksikan biaya *heat pump* untuk aplikasi kompresi uap akan turun dari \$950/kW pada tahun 2019 menjadi \$873/kW pada tahun 2030 dan \$779/kW pada tahun 2050.²⁵

¹⁶ Rata-rata mengacu pada 2.905 proyeksi masa lalu berdasarkan model penilaian terpadu untuk laju tahunan di mana biaya investasi sistem pembangkit listrik tenaga surya mengalami penurunan antara tahun 2010 dan 2020. Way, R. et al. (2022), Empirically Grounded Technology Forecasts and the Energy Transition, *Joule*.

¹⁷ Proyeksi saat ini mengacu pada pemilihan skenario optimis dari model penilaian terpadu (Integrated Assessment Models (IAMs)) dan studi dari IEA. Ibid.

¹⁸ BloombergNEF, (2022), Global LCOE Benchmarks 1H 2022.

¹⁹ F. Nijse et al. (2022), "Is a Solar Future Inevitable?," University of Exeter - Global Systems Institute Working Paper Series.

²⁰ M. S. Ziegler and J. E. Trancik (2021), "Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline," *Energy & Environmental Science*.

²¹ Benchmark Mineral Intelligence (2021), Global Battery Arms Race.

²² Hydrogen Council and McKinsey (2022), Hydrogen Insights 2022.

²³ RMI (2021), Fuelling the Transition: Accelerating Cost-Competitive Green Hydrogen.

Meskipun penurunan biayanya tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan teknologi tenaga surya dan teknologi baterai penyimpanan, koefisien kinerjanya (yaitu efisiensi) telah meningkat lebih dari 70% sejak awal tahun 1990-an untuk *heat pump* udara-ke-air karena adanya inovasi teknologi.²⁶

Gambar 4 di bawah menunjukkan lintasan historis dan potensi di masa depan untuk biaya dari dua teknologi transisi energi utama, seiring dengan peningkatan produksi yang sejalan dengan apa yang diperlukan untuk mencapai perekonomian *net-zero* pada tahun 2050. Kelanjutan dari *learning rate* historis menunjukkan bahwa pengurangan biaya yang besar diperkirakan akan terjadi seiring dengan peningkatan *output*. Gambar-gambar tersebut juga menyoroti "kisaran *tipping point*" untuk teknologi-teknologi yang dimaksud, di mana biayanya mencapai tingkat yang menjadikannya kompetitif secara ekonomi terhadap perusahaan-perusahaan lama yang berbasis fosil (misalnya, biaya listrik yang diratakan (LCOE) dari tenaga surya dan bayu yang mencapai kesetaraan dengan LCOE dari pembangkit listrik tenaga gas (PLTGU) baru).

Dinamika lokal akan mempengaruhi tingkat pengurangan biaya di tingkat lokal. Di wilayah/negara tertentu, pengurangan biaya yang tertunda dapat terjadi karena ketidakselarasan dengan dinamika lokal, misalnya kebijakan. Sebagai contoh, biaya sistem rata-rata untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya skala utilitas di ASEAN umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan di negara-negara lain di dunia karena ketidakpastian pasar yang lebih tinggi dan risiko investasi yang dirasakan. Akibatnya, investasi pada teknologi tersebut diperhadapkan pada biaya pengembangan dan pendanaan yang lebih tinggi, sehingga menghambat pencapaian skala ekonominya.²⁷ Oleh karena itu, kebijakan dan faktor pengungkit pasar memiliki peran penting untuk mengatasi hambatan ini baik dari sisi permintaan maupun penawaran; untuk mempercepat laju pengurangan biaya di tingkat lokal.

²⁴ R. Haas et al. (2022), "Technological learning: Lessons learned on energy technologies," WIREs Energy and Environment.

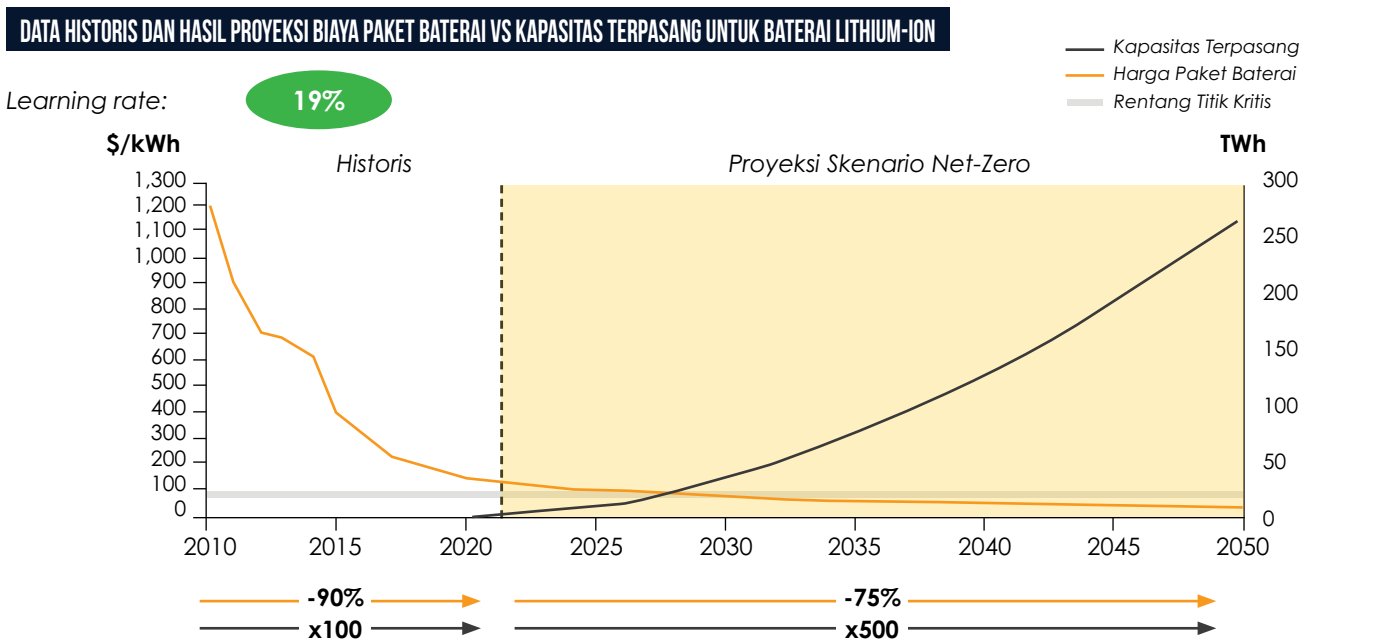
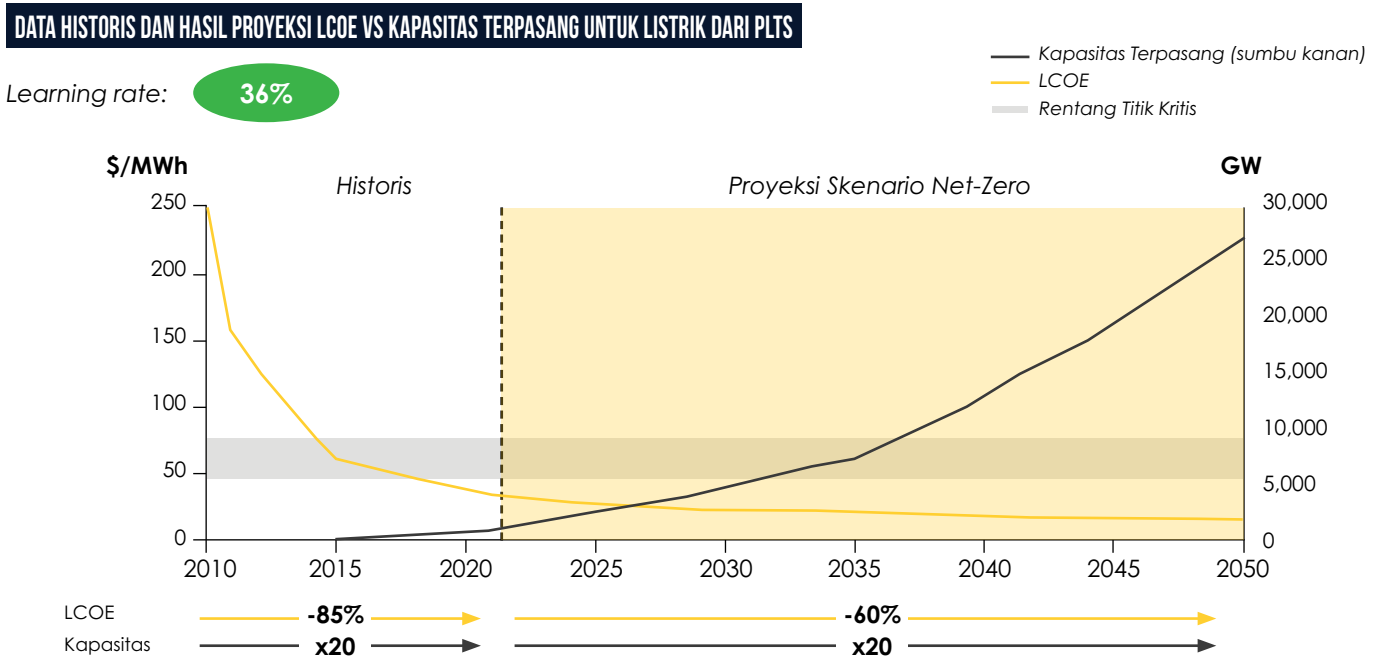
²⁵ IEA (2020), Energy Technology Perspectives: Special Report on Clean Energy Innovation.

²⁶ IEA (2022), The Future of Heat Pumps.

²⁷ IRENA (2023), Renewable power generation costs in 2022; IRENA & ACE (2022), Renewable energy outlook for ASEAN: Towards a regional energy transition.



Gambar 4. Kurva pembelajaran dari pembangkit listrik tenaga surya dan baterai Lithium-ion



Catatan: Untuk pembangkit listrik tenaga surya, kisaran *tipping point* menunjukkan LCOE saat ini dari pembangkit listrik baru berbasis gas (rata-rata global)—yaitu, biaya di mana energi terbarukan menjadi lebih murah dibandingkan energi alternatif berbasis fosil. Proyeksi mengacu pada penerapan yang diperlukan untuk skenario di mana *net-zero* tercapai secara global pada tahun 2050, dalam skenario transisi yang lebih lambat, biaya akan sedikit berkurang pada periode yang sama karena penambahan kapasitas yang lebih bertahap. [1] *Learning rate* dihitung sebagai persentase penurunan total biaya setelah kapasitas terpasang digandakan; yang mengacu pada kecepatan pembelajaran yang diamati selama 2010-2020. [2] Pengurangan biaya untuk pembangkit listrik tenaga surya (skala utilitas) dan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) darat mengacu pada LCOE yang tidak disubsidi.

Untuk baterai *Lithium-ion*, kisaran *tipping point*-nya mengacu pada tingkat yang diperlukan untuk keseimbangan biaya pembelian BEV dengan kendaraan penumpang konvensional. Kisaran *tipping point* untuk elektroliser mengacu pada biaya modal elektroliser yang mendukung harga hidrogen ramah lingkungan sebesar \$1,5-2,0/kg H₂, sehingga dekarbonisasi pada sektor-sektor *hard-to-abate* (sulit dikurangi emisinya) menjadi hemat biaya (tidak termasuk penerbangan jarak jauh). Proyeksi mengacu pada penerapan yang diperlukan untuk skenario di mana *net-zero* tercapai secara global pada tahun 2050, dalam skenario transisi yang lebih lambat, biaya akan sedikit berkurang pada periode yang sama karena adanya penambahan kapasitas yang lebih bertahap. [1] Peningkatan kapasitas terpasang baterai *Li-ion* mengacu pada perubahan total pembangkitan listrik global untuk baterai dalam satuan GWh di semua sektor. Pengurangan biaya baterai *Lithium-ion* mengacu pada penurunan biaya modal untuk penyimpanan skala utilitas selama 4 jam, biaya elektroliser P2X mengacu pada belanja modal untuk pembangkit skala utilitas >1GW.

Sumber: Our World in Data (2020); Lazard (2021), Levelized Cost of Energy Analysis v15; Mission Possible Partnership (2022); IEA (2020), Net-Zero by 2050; ETC (2021), Making Clean Electrification Possible. IRENA (2020), Empirically Grounded Technology Forecasts and the Energy Transition; BloombergNEF (2022), New Energy Outlook [3] Mission Possible Partnership (2022); NREL (2021), Annual Technology Baseline, IEA (2020), Net-Zero by 2050; ETC (2021), BloombergNEF 2020 Electric Vehicle Outlook and 2020 Lithium-ion Battery Price Survey.

MENGIDENTIFIKASI TIPPING POINT POSITIF UNTUK KAWASAN ASEAN

Laporan *The Breakthrough Effect* yang pertama telah memberikan gambaran secara global, mengidentifikasi *tipping point* di 10 sektor dengan emisi tinggi dengan analisis yang terfokus pada kurva biaya global, sementara laporan ini memiliki fokus regional dan mencakup kondisi regional yang berdampak pada kemajuan menuju *tipping point* seperti kebijakan.

Laporan ini memusatkan perhatian pada *tipping point* yang sangat relevan dengan kawasan ASEAN. Pada sebagian besar kasus, *tipping point* ini terjadi di tingkat masing-masing negara atau wilayah. Hal ini akan terjadi ketika kemajuan teknologi global mengarah pada pengurangan biaya dan bersinggungan dengan faktor-faktor lokal seperti kebijakan pemerintah, ketersediaan energi terbarukan, permintaan energi, dan dinamika lokal yang unik.

Tujuan utama dari laporan ini adalah untuk mengidentifikasi *tipping point* regional, menyorotnya sebagai target dan membuat profil secara tepat mengenai kondisi dan faktor pendorong/pengungkit untuk mencapainya. Melalui kerangka kerja ini, laporan ini bertujuan untuk mengkatalisis aksi pemerintah, korporasi, dan investor untuk membuka kunci pengungkit yang dapat memicu *tipping point*.

MENGAPA ASEAN?

Kerentanan ASEAN terhadap dampak perubahan iklim dan peran strategisnya dalam upaya dekarbonisasi global menjadikannya kawasan penting untuk mempercepat aksi iklim.

Bagi ASEAN, dampak perubahan iklim sangat relevan karena kawasan ini merupakan salah satu kawasan yang paling rentan terhadap perubahan iklim di dunia. Myanmar, Filipina, Thailand, dan Vietnam sudah termasuk di antara 10 negara di dunia yang paling menderita kerugian dalam hal manusia dan materi akibat peristiwa cuaca terkait iklim selama 20 tahun terakhir.²⁸ Banjir sendiri telah menyumbang lebih dari 60% dari seluruh kejadian bencana yang terjadi sejak tahun 2012 hingga 2019. Pada periode yang sama, banjir berdampak pada lebih dari 70 juta orang dan modal saham senilai ~US\$ 900 miliar.²⁹ Dari sudut pandang ekonomi, dampak perubahan iklim dapat menurunkan PDB kawasan sebesar 35% pada tahun 2050, yang selanjutnya dapat mengancam mata pencaharian masyarakat di ASEAN.³⁰

Pada saat yang sama, ASEAN memiliki peran strategis dalam upaya global untuk melakukan dekarbonisasi di berbagai sektor. ASEAN memiliki sumber daya alam yang melimpah termasuk mineral kritis untuk transisi energi. Indonesia sendiri memiliki 22% cadangan nikel

global, sementara 18% cadangan logam tanah jarang global berada di Vietnam.³¹ Keduanya merupakan mineral kritis untuk pengembangan kendaraan listrik (EV) dan baterai, dimana kawasan ini memiliki salah satu potensi pasar terbesar—yang mencakup 20% dari armada kendaraan roda dua global.³² Selain itu, ASEAN terletak secara strategis di persimpangan rute pelayaran utama, sehingga menyumbang setidaknya 10% dari volume pelayaran dunia. Singapura sendiri menyumbang 20% dari permintaan *bunkering* global, yang menggarisbawahi pentingnya kawasan ini dalam membentuk masa depan pelayaran global rendah karbon.

Pilihan yang diambil oleh negara-negara ASEAN dalam dekade mendatang akan menentukan apakah kawasan ini dapat memanfaatkan peluang pertumbuhan hijau. Mengingat posisinya yang unik dalam hal kerentanan dan peran strategisnya dalam dekarbonisasi global, ASEAN dapat memainkan peran yang terdepan dan terus berkembang seiring usahanya dalam membangun ekonomi industri hijau. Dari model pembangunan pertumbuhan tinggi karbon dimana perekonomian masih bergantung pada batu bara dan transportasi swasta, ASEAN dapat beralih ke pertumbuhan rendah karbon dimana solusi tanpa emisi menjadi mesin penggerak pertumbuhan—yang memberikan manfaat ekonomi, kesehatan, dan lingkungan secara bersamaan.

²⁸ Germanwatch (2018), Global Climate Risk Index 2019.

²⁹ The AHA Centre (2018), ASEAN Risk Monitor and Disaster Management Review (ARMOR).

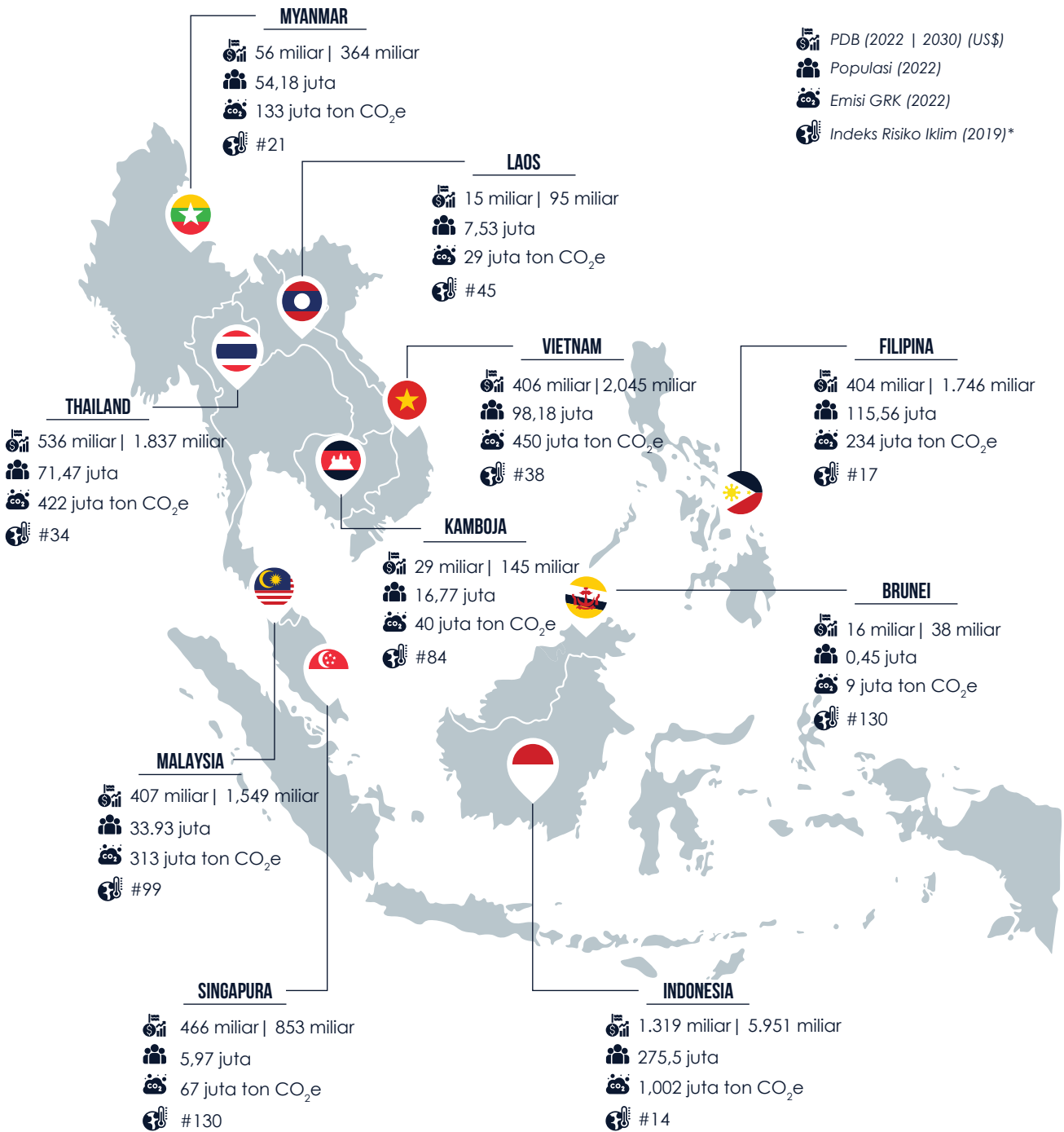
³⁰ UK Government (2021), Adaptation and Resilience in ASEAN: Managing Disaster Risks from Natural Hazards.

³¹ US Geological Survey (2023), Mineral Commodity Summaries.

³² BloombergNEF (2020), Electric Vehicle Outlook 2020.



Gambar 5. Data makroekonomi dan kerentanan iklim utama ASEAN



KONTEKS REGIONAL ASEAN

- Perubahan penggunaan lahan, ketenagalistrikan, transportasi, dan proses industri merupakan sumber emisi utama ASEAN.
- 6 dari 10 negara ASEAN termasuk di antara 50 negara dengan Indeks Risiko Iklim tertinggi.
- 4 dari 10 negara sudah termasuk dalam 10 negara teratas yang paling menderita akibat peristiwa cuaca terkait iklim selama 20 tahun terakhir.
- 11.8 tahun adalah rata-rata usia armada PLTU batubara ASEAN, menjadikannya yang termuda di dunia.
- 125+ GW PLTU batubara merupakan sumber tenaga listrik utama ASEAN.
- ~20% dari armada kendaraan roda dua dan roda tiga global berada di ASEAN.

Catatan: *) Diambil dari Germanwatch. 2021. Global Climate Risk Index 2021, ranking 180 countries with the highest number being the most climate vulnerable.

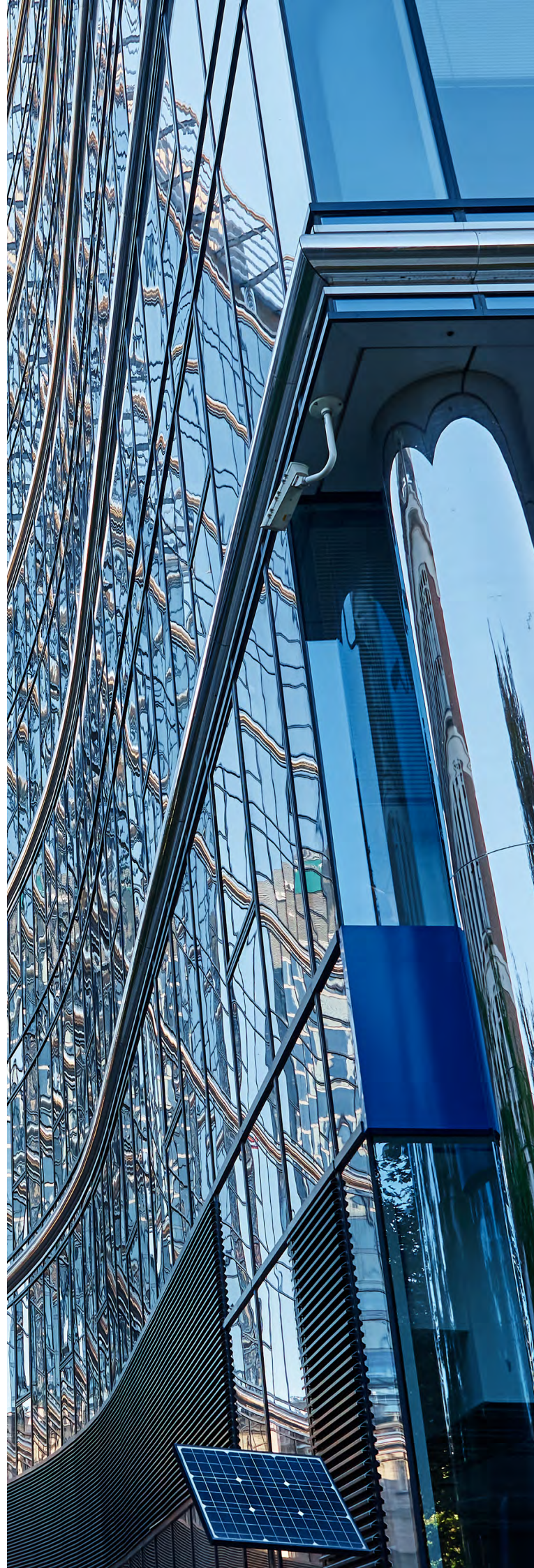
RUANG LINGKUP *THE BREAKTHROUGH EFFECT IN ASEAN*

Sementara laporan *The Breakthrough Effect* global mencakup 10 sektor *hard-to-abate* (sulit dikurangi emisinya): ketenagalistrikan, transportasi jalan raya ringan, transportasi darat angkutan berat, pemanasan gedung, pupuk, baja, pelayaran, penerbangan, pangan & pertanian, dan perubahan penggunaan lahan yang dihindari, studi *The Breakthrough Effect in ASEAN* akan berfokus pada sektor-sektor prioritas yang paling relevan dengan kawasan.













Studi ini telah melakukan kegiatan penentuan prioritas untuk menentukan sektor-sektor yang akan dimasukkan ke dalam analisis “gelombang pertama” *tipping point* yang dapat didorong oleh kawasan ini. Daftar ini sama sekali bukan merupakan pandangan komprehensif mengenai seluruh aksi iklim yang diperlukan, dan bukan pula pandangan komprehensif mengenai semua potensi *tipping point* di kawasan ini. Ini adalah sebuah permulaan. Daftar ini dapat dipandang sebagai kemenangan yang lebih mudah dicapai. Meskipun untuk solusi-solusi yang ada dalam daftar ini, mencapai *tipping point* tidaklah mudah atau tidak akan terjadi dengan sendirinya. Namun hal ini akan memerlukan upaya bersama untuk mendorong faktor pengungkit yang dapat menciptakan kondisi untuk membuka *tipping point*.

Daftar awal ini dipilih berdasarkan empat parameter:

1. **Relevansi sosial-ekonomi kawasan:** Sektor-sektor yang penting bagi perekonomian dan kesejahteraan masyarakat, seperti transportasi.
2. **Dampak perdagangan global:** Sektor-sektor di mana ASEAN memiliki peran yang penting dan berdampak di dalam neraca perdagangan atau rantai nilai.
3. **Kontribusi emisi regional:** Sektor-sektor yang menyumbang porsi yang signifikan terhadap emisi regional.
4. **Kesiapan untuk solusi rendah karbon masing-masing:** Sektor-sektor yang sudah memiliki solusi rendah karbon yang siap untuk diadopsi secara massal.



Gambar 6. Sektor-sektor prioritas dalam Efek terobosan di ASEAN

	Relevansi Geografis*	Dampak terhadap rantai nilai global	Emisi GRK (MTCO ₂ e dan % dari total)	Kesiapan penerapan solusi rendah karbon ³
 KETENAGALISTRIKAN	Penting untuk perekonomian rendah karbon	▼	675 25%	Tenaga surya (VRE) + baterai 10
 KENDARAAN RODA 2	Moda transportasi utama	▼	100 4%	Kendaraan listrik 10
 BUS	Solusi jangka panjang untuk angkutan jalan raya	▼	70 2%	Kendaraan listrik 10
 PEMANASAN DI INDUSTRI	Berdampak pada industri utama (contoh, tekstil, makanan & minuman)	▲	105 4%	Elektrifikasi langsung 6-8
 PELAYARAN	Persimpangan dari banyak rute pelayaran dunia	▲	65 3%	Amonia hijau untuk bahan bakar 5
 PEMURNIAN MINERAL	Salah satu cadangan mineral terbesar di dunia	▲	30 1%	VRE + baterai + Elektrifikasi panas 8
 SEMEN	Industri utama untuk infrastruktur	—	135 5%	Belum ada solusi yang jelas ?
 BAJA	Industri utama untuk infrastruktur	—	55 2%	Besi dengan reduksi langsung berbasis H ₂ 6
 KIMIA - PUPUK	Penting bagi sistem pangan & ekonomi	▼	45 2%	Amonia hijau 7
 PERUMAHAN	Jumlah populasi yang tinggi	▼	50 2%	Pendinginan dengan listrik 10
 PENGGUNAAN LAHAN - DEFORESTASI	Salah satu tutupan hutan terluas di dunia	▲	575 22%	Ada beberapa solusi ?
 PENGGUNAAN LAHAN - PANGAN	Bagian besar dari budaya dan mata pencaharian	▲	400 14%	Protein alternatif 5

































































Legenda: ● Tinggi ● Sedang ● Rendah ● Sangat rendah Sektor prioritas




Setelah melakukan penilaian terhadap sektor-sektor berdasarkan parameter tersebut, terdapat enam sektor yang terpilih dan akan menjadi fokus analisis yaitu:

- 1. Ketenagalistrikan:** Sektor ketenagalistrikan merupakan penyumbang emisi GRK terbesar di ASEAN (25% pada tahun 2020), menjadikannya salah satu sektor terpenting yang harus didekarbonisasi seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan ekonomi negara-negara ASEAN. Saat ini, ASEAN masih menjadi salah satu kawasan di dunia yang paling bergantung pada bahan bakar fosil dan hampir separuh dari tenaga listriknya berasal dari batu bara. Meskipun energi terbarukan, khususnya tenaga surya dan bayu, telah mengalami peningkatan besar dalam penggunaannya secara global (85% dari kapasitas pembangkit baru pada tahun 2022), penerapannya di ASEAN rata-rata baru memasuki tahap adopsi skala kecil.
- 2. Transportasi jalan raya – kendaraan bermotor roda dua:** Kendaraan bermotor roda dua (*two-wheelers/2W*) mewakili salah satu moda transportasi utama di kawasan ini dan menyumbang sebesar 4% dari total emisi ASEAN pada tahun 2020. ASEAN juga merupakan rumah bagi 20% armada 2W global, oleh karena itu elektrifikasi kendaraan ini secara langsung adalah kunci untuk mencapai *net-zero* di kawasan ini.
- 3. Transportasi jalan raya – bus:** Bus mewakili 3% dari total emisi ASEAN; transportasi publik adalah salah satu sektor penting lain yang harus didekarbonisasi. Oleh karena itu, elektrifikasi bus akan menjadi kunci untuk mengurangi emisi transportasi jalan raya. Secara global, sekitar 4,5% bus umum telah menggunakan listrik, dan bus listrik mewakili hampir 40% dari seluruh penjualan bus pada tahun 2022, terutama dipimpin oleh Cina, diikuti oleh Eropa dan Amerika Serikat. Ada peluang bagi ASEAN untuk mendapatkan manfaat dari teknologi ini yang sedang menjadi dominan di pasar lain.
- 4. Pemanasan di industri:** Pemanasan menyumbang setengah dari kebutuhan energi akhir dunia dan setengahnya berasal dari pemanasan industri. Di ASEAN, pemanasan di industri mewakili ~4% dari total emisi. Pemanasan dengan temperatur rendah (<150 °C) dan sedang hingga tinggi (150-650°C) menghadirkan peluang untuk melakukan dekarbonisasi melalui elektrifikasi langsung karena solusi teknologinya merupakan salah satu yang paling siap secara teknologi (yaitu *heat pump* industri untuk pemanasan dengan suhu rendah). Makanan dan minuman, pulp dan kertas, serta tekstil dan garmen merupakan tiga industri di ASEAN yang membutuhkan pemanasan dengan temperatur rendah yang berdampak pada perdagangan dan rantai nilai global.
- 5. Pelayaran:** Lebih dari 90% perdagangan global terjadi melalui pelayaran menggunakan kapal jarak jauh, oleh karena itu dekarbonisasi pelayaran sangatlah penting. ASEAN memainkan peran strategis dalam pelayaran/perdagangan global karena berada di tengah-tengah beberapa koridor pelayaran besar, dan berkontribusi terhadap setidaknya 10% volume pelayaran dunia. Saat ini, Asia Tenggara mempunyai lima dari 30 pelabuhan teratas dalam hal nilai keseluruhan aktivitas pelabuhan (*port throughput*) tahunan. Singapura, khususnya, saat ini memiliki pangsa 20+% dari permintaan *bunkering* global. Secara keseluruhan, sektor pelayaran berkontribusi terhadap 3% dari total emisi ASEAN.
- 6. Pemurnian mineral – Nikel:** Pemurnian mineral (kritis) merupakan sub-sektor yang sangat penting dalam transisi energi global dan ASEAN mempunyai peran yang besar. Indonesia dan Filipina khususnya memiliki ~25% cadangan nikel global, yang merupakan elemen penting dalam pengembangan kendaraan listrik dan baterai (juga untuk penyimpanan energi). Oleh karena itu, mengembangkan solusi tenaga listrik dan energi panas yang ramah lingkungan untuk nikel dan manufaktur rantai nilai baterai terkait akan menjadi sangat penting untuk mengurangi jejak karbon keseluruhan dari kendaraan listrik dan penerapan penyimpanan energi dengan menggunakan baterai.

Meskipun keenam sektor prioritas ini berlaku untuk seluruh negara ASEAN, analisis sektoral difokuskan pada negara-negara yang masing-masing sektornya mempunyai relevansi dan dampak paling besar. Pemetaan sektoral – negara dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Relevansi negara untuk setiap sektor yang diprioritaskan

Sector	Emissions	Most relevant countries
 KETENAGALISTRIKAN (KELOMPOK 1)	 25%	 Vietnam  Thailand  Filipina  Malaysia
 KETENAGALISTRIKAN (KELOMPOK 2)		 Indonesia  Myanmar  Laos  Kamboja
 KENDARAAN RODA 2 DI TRANSPORTASI JALAN RAYA	 4%	 Myanmar  Thailand  Laos  Malaysia  Kamboja  Singapura  Vietnam  Indonesia  Brunei  Filipina
 BUS DI TRANSPORTASI JALAN RAYA	 2%	 Myanmar  Thailand  Laos  Malaysia  Kamboja  Singapura  Vietnam  Indonesia  Brunei  Filipina
 PEMANASAN DI INDUSTRI (Rendah, <150°C)	 4%	 Myanmar  Thailand  Laos  Malaysia  Vietnam  Indonesia  Filipina  Kamboja
 PEMANASAN DI INDUSTRI (Med-high, 150-600°C)		 Myanmar  Thailand  Laos  Malaysia  Vietnam  Indonesia  Philippines  Kamboja
 PELAYARAN	 3%	 Singapura  Vietnam  Indonesia  Malaysia
 PEMURNIAN MINERAL - NIKEL	 1%	 Philippines  Vietnam  Indonesia

Legenda:  Tinggi  Sedang  Rendah  Sangat rendah

BOX 3. SEKTOR PERTANIAN DAN PENGGUNAAN LAHAN

Laporan ini memilih untuk tidak memasukkan sektor pertanian dan penggunaan lahan (AFOLU) dalam analisisnya. Hal ini karena sifat sektor AFOLU pada dasarnya sangat kompleks, yang berarti tidak ada satu solusi rendah karbon yang dapat mencapai *tipping point* sendiri dan menghasilkan dekarbonisasi pada sebagian besar sektor ini. Dinamika AFOLU melibatkan faktor-faktor yang rumit dan saling terkait, yang berarti bahwa hanya perpaduan dari beberapa solusilah—bukan satu solusi utama—yang secara bersama-sama dapat memberikan dampak yang signifikan.

Meskipun demikian, laporan ini menyadari pentingnya sektor AFOLU dalam konteks upaya dekarbonisasi ASEAN mengingat potensi dan pentingnya sektor ini terhadap perekonomian kawasan.

- 1. Sektor pertanian yang besar dan pengeksport komoditas utama.** 8 dari 10 negara di Perhimpunan Bangsa-Bangsa Asia Tenggara (ASEAN) bergantung pada pertanian dan produksinya, dan kawasan ini menjadi produsen dan pengeksport utama minyak sawit, karet mentah, beras, gula, makanan laut, dan buah-buahan.¹
- 2. Kontribusi emisi.** Penggunaan lahan sendiri menyumbang 35% emisi GRK di kawasan ini.² Pada tahun 2018, emisi CO₂ dari AFOLU adalah sebesar 965 MTCO₂e, yang menyumbang sekitar dua perlima dari total emisi GRK.³
- 3. Potensi yang besar untuk solusi berbasis alam.** Kawasan ini merupakan rumah bagi 15% hutan tropis dunia,⁴ 56% lahan gambut tropis global,⁵ dan setidaknya empat dari dua puluh lima *hotspot* keanekaragaman hayati yang penting secara global.⁶ Selain itu, wilayah ini juga memiliki kandungan karbon biru tertinggi secara global, dimana beberapa negara memiliki wilayah rawa bakau dan padang lamun yang luas.⁷

Mengingat hal-hal tersebut, meskipun tidak termasuk dalam cakupan laporan ini, pentingnya sektor AFOLU tetap terlihat jelas dalam lanskap dekarbonisasi ASEAN dan tidak boleh diabaikan.

Sumber: 1. ASEAN Regional Guidelines for Sustainable Agriculture in ASEAN, 2022; 2. Systemiq Analysis, 2023; 3. Sixth ASEAN State of the Environment Report, 2023; 4. Stibig, H. J., Achard, F., Carboni, S., Rasi, R. & Miettinen, J. Change in tropical forest cover of Southeast Asia from 1990 to 2010, 2014; 5. Sustainable Use of Peatland and Haze Mitigation in ASEAN (SUPA), 2023; 6. Sodhi, N. S. et al. The state and conservation of Southeast Asian biodiversity, 2010; 7. Thorhaug A, Gallagher JB, Kiwara W, et al. Coastal and estuarine blue carbon stocks in the greater Southeast Asia region: Seagrasses and mangroves per nation and sum of total. Mar Pollut Bull. 2020.



MENGIDENTIFIKASI *TIPPING POINT* DI ASEAN BERDASARKAN SEKTOR

Bagian ini menyajikan analisis terhadap enam sektor prioritas di ASEAN yang dibahas pada Bagian 2. Dalam setiap analisis sektor, laporan ini berupaya untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

Konteks sektor global

- Apa **konteks global** mengenai bagaimana sektor ini akan melakukan dekarbonisasi?
- Apa saja **solusi rendah karbon inti** yang akan mendorong dekarbonisasi?

Konteks sektor geografis

- Bagaimana kemajuan transisi sektoral di **tingkat ASEAN**?
- Apakah ada **peluang atau tantangan** yang spesifik untuk kawasan ini?

Status solusi

- Bagaimana **status** solusi inti yang diadopsi di tingkat ASEAN **saat ini**?
- Apakah baru dalam tahap **pengembangan**, atau diadopsi di pasar khusus (*niche market*), atau mulai masuk ke **pasar massal**?

Status *tipping point*

- Seberapa dekat kita dengan ***tipping point***, untuk membantu solusi tersebut menembus pasar massal?
- Apa **kesenjangan utama** yang harus diatasi untuk memicu hal tersebut?

Perhitungan *tipping point & lever*

- Bagaimana **perbandingan** biaya **saat ini** dan **potensi biaya di masa depan** dari **solusi rendah karbon** dibandingkan dengan **solusi lama/petahana**?

Kondisi target & kemajuan untuk memicu *tipping point*

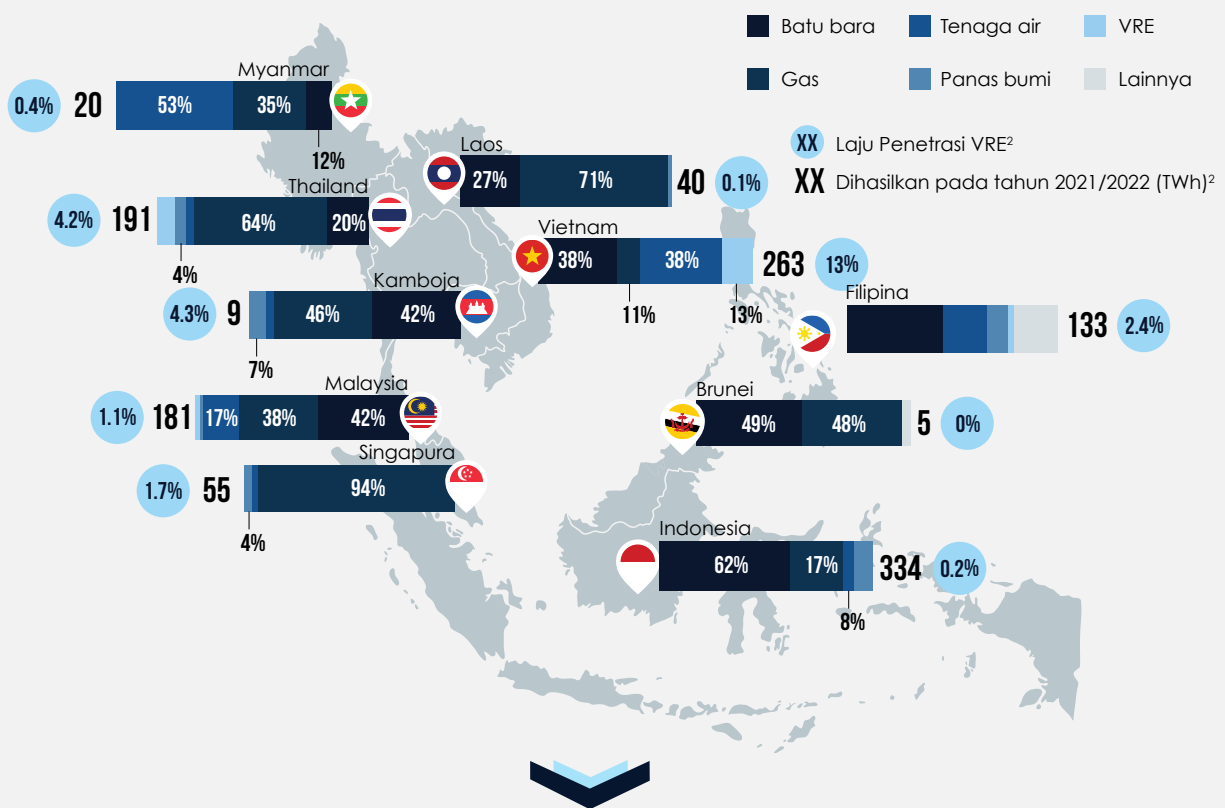
- Bagaimana **status kondisi *tipping point* saat ini** dan **potensi di masa depan** (keterjangkauan, daya tarik dan aksesibilitas)?

KETENAGALISTRIKAN: PLTS & BATERAI

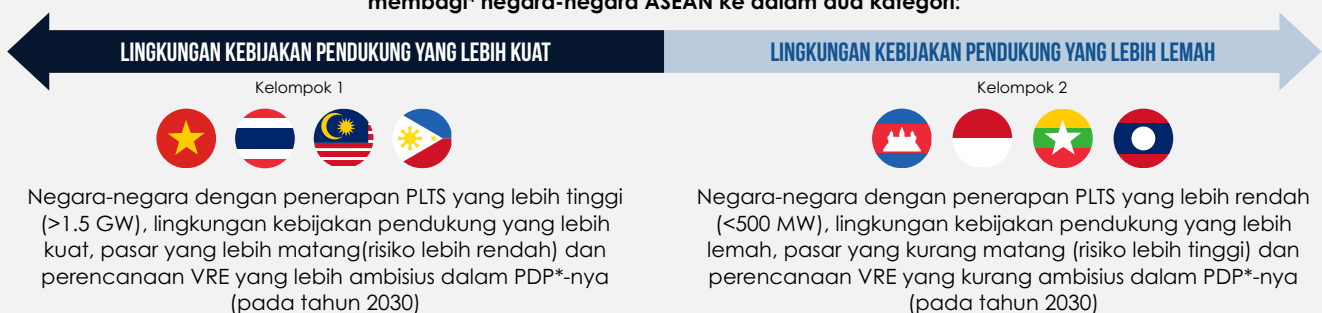
25% DARI TOTAL EMISI
GRK ASEAN TAHUN 2020

KONTEKS SEKTORAL & GEOGRAFIS

- Secara global, penerapan energi terbarukan telah mengalami peningkatan pesat. Pada tahun 2022, PLTS dan PLTB menyumbang 85% dari kapasitas pembangkit listrik energi terbarukan baru. PLTS dan PLTB berkontribusi terhadap 12% dari pembangkitan listrik global pada tahun 2022.¹
- ASEAN masih merupakan salah satu kawasan di dunia yang paling bergantung pada batu bara. 45% dari tenaga listriknya berasal dari batu bara, dengan Vietnam, Indonesia, Filipina, Malaysia, dan Kamboja memperoleh 50% dari listrik mereka dari batu bara. Hanya 4% dari tenaga listrik dihasilkan oleh Variable Renewable Energy (VRE), yaitu PLTS dan PLTB, dengan 3%-nya berasal dari PLTS.²
- Pertumbuhan di ASEAN belum diimbangi dengan sumber energi terbarukan. Listrik bersih, yang mewakili 30-40% dari kapasitas terpasang yang baru, belum dapat mengimbangi laju pertumbuhan permintaan (5% per tahun sejak 2016).³
- Situasi yang berbeda-beda di seluruh simpul jaringan tenaga listrik. Filipina dan Indonesia memiliki simpul jaringan tenaga listrik yang berbeda dengan situasi yang berbeda-beda pula, sehingga membuatnya sulit untuk beralih ke energi terbarukan. Juga terdapat beberapa hambatan lokal lain seperti kemudahan berusaha (contohnya di Laos & Kamboja).



Analisis kami akan berfokus pada PLTS (dan PLTS + Baterai) sebagai *tipping point*, mengingat bahwa potensi PLTB lebih rendah di ASEAN secara umum. Karena adanya perbedaan dalam hal penerapan PLTS dan lingkungan kebijakan yang mendukung, kami membagi negara-negara ASEAN ke dalam dua kategori:



Catatan: [1] Systemiq (2023), *The Breakthrough Effect: How to Trigger a Cascade of Tipping Points to Accelerate the Net Zero Transition*. [2] Our World in Data (n.d.), *Produksi tenaga listrik berdasarkan sumbernya* [3] ASEAN Centre for Energy (2022), *The 7th ASEAN Energy Outlook 2020-2050*. [4] Diadaptasi dari Asian Development Bank, Bloomberg Philanthropies, ClimateWorks Foundation, Sustainable Energy for All (2023), *Renewable Energy Manufacturing: Opportunities for Southeast Asia*. *) *Power Development Plan* (Rencana Pengembangan Ketenagalistrikan). PLTS : Pembangkit Listrik Tenaga Surya, PLTB: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu



PLTS

- Hanya 3% dari listrik di ASEAN dihasilkan dari PLTS.² Vietnam memimpin dengan porsi sebesar 10%, salah satu dari yang terdepan secara global. Negara-negara lain di ASEAN masih tertinggal, Thailand memiliki porsi listrik yang dihasilkan oleh tenaga surya sebesar 2,6%, dan Filipina sebesar 1,6%, jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan negara-negara terdepan seperti Cina (4,8%), India (5,1%), Australia (13%), dan Chili (17,4%).
- Bagi negara-negara dengan hambatan yang lebih tinggi, permasalahannya berkisar pada biaya teknologi, proses regulasi, dan struktur pasar tenaga listrik. Walaupun ada beberapa kemajuan dalam proses pengadaan dan pengurangan biaya teknologi, perlu lebih banyak lagi perbaikan untuk memulai penerapan tenaga surya.



PLTS + Baterai

- Penerapan penyimpanan energi di ASEAN masih pada tahap awal, namun diharapkan dapat mencapai 1.175 GW pada tahun 2050 (skenario 1,5°C dengan 100% pembangkitan listrik menggunakan energi terbarukan).⁵
- Negara-negara seperti Thailand dan Vietnam telah memasukkan solusi PLTS + baterai ke dalam rencana ketenagalistrikan jangka panjangnya, namun belum ada kemajuan yang signifikan dalam pelaksanaan proyeknya. Negara-negara lain sedang mempertimbangkan penyimpanan tingkat sistem seperti pumped storage (Indonesia, Filipina).⁶
- Manufaktur baterai sudah ada dan berkembang pesat di Thailand dan Vietnam, diikuti oleh Indonesia dan Malaysia.⁷

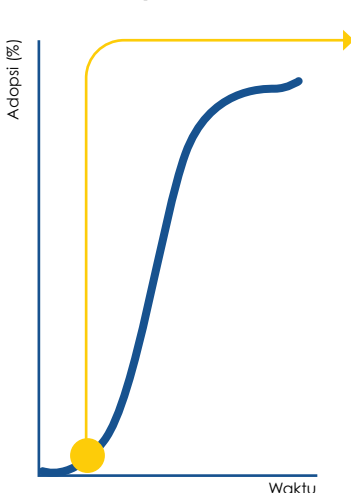
TIPPING POINT DAN STATUS LAJU ADOPSI

Legenda: □ Fokus dari tipping point ✓ Sebagian besar tercapai ● Tercapai di beberapa kasus - Tidak tercapai

Status tipping point

	KELOMPOK 1	KELOMPOK 2	INDONESIA*	DIBANDINGKAN DENGAN...	STATUS/PERTIMBANGAN
TIPPING POINT 1 LCOE PLTS < PLTU/PLTGU baru	✓	●	●	• PLTU Baru (Kelompok 2) • PLTGU Baru (Indonesia)	• Sudah tercapai untuk Kelompok 1 dan bisa telah tercapai untuk Kelompok 2 pada kasus tertentu.
TIPPING POINT 2 LCOE PLTS + baterai < PLTU/PLTGU baru	●	●	●	• PLTGU Baru	• Untuk Indonesia, karena sudah ada moratorium batu bara, T.P. 1 akan dibandingkan dengan PLTGU baru.
TIPPING POINT 3 LCOE PLTS < PLTU/PLTGU yang ada	✓	●	-	• PLTU yang ada	• T.P. 2 † dibandingkan dengan PLTGU baru bisa telah tercapai di negara-negara yang tidak memiliki produksi gas domestik (atau batasan harga), atau ketika fluktuasi harga gas internasional terlihat jelas.
TIPPING POINT 4 LCOE PLTS + Baterai < PLTU/PLTGU yang ada	●	-	-	• PLTGU yang ada	• T.P. 3 telah tercapai di Kelompok 1 dan bisa tercapai di Kelompok 2, kecuali Indonesia (batasan harga batu bara domestik). T.P.3 dapat dihubungkan dengan pembiayaan karbon untuk percepatan penghentian batu bara.
					• T.P. 4 bisa tercapai pada kasus tertentu, dan saat ini hanya relevan untuk Kelompok 1 yang memiliki penetrasi VRE tinggi (khususnya Vietnam, dengan 13% VRE, dan Thailand dengan pangsa gas yang tinggi).

Status adopsi saat ini



Walaupun sebagian besar tipping point telah tercapai, Penetrasi VRE ASEAN yang sebesar 3% berarti bahwa PLTS (+baterai) berada pada tahap awal dalam kurva adopsi. Ada beberapa hambatan atau faktor pendukung utama lainnya untuk mencapai tipping point selain keterjangkauan, daya tarik, dan aksesibilitas, yang mencakup:

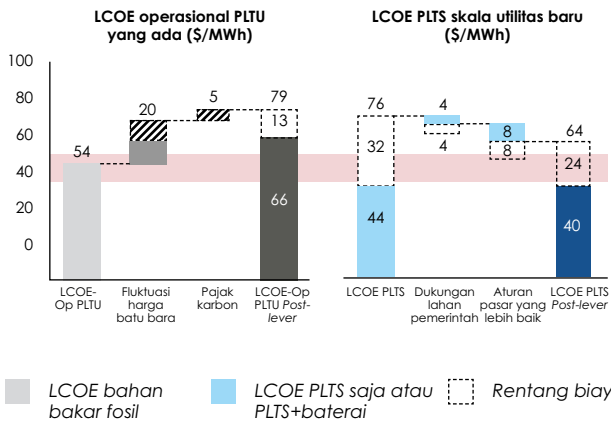
- Menyederhanakan perjanjian jual beli listrik (Power Purchase Agreement/PPA) dan proses pengadaan dengan menggunakan lelang. Hal ini dapat mengurangi biaya overhead & lahan.
- Restrukturisasi struktur pasar pembangkit listrik yang ada. Negara-negara terikat pada PPA take-or-pay jangka panjang/tetap untuk PLTU lama.
- Memastikan pemrakarsa proyek menerima manfaat dari pendapatan karbon, untuk memungkinkan LCOE yang lebih rendah.
- Berinvestasi di infrastruktur jaringan listrik untuk mengurangi biaya interkoneksi untuk PLTS + baterai yang baru.
- Meningkatkan harga batu bara, baik melalui pajak karbon maupun menyingkirkan batasan harga domestik/subsidi (khususnya di Indonesia).
- Menerapkan peraturan polusi yang ketat untuk PLTU, sehingga meningkatkan biaya operasionalnya.
- Menjajaki kemungkinan untuk PPA langsung dan power-wheeling.

Catatan: PLTU = Pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara, PLTGU = Pembangkit listrik tenaga gas dan uap [2] Sama dengan halaman sebelumnya. [5] IRENA (2022), Renewable Energy Outlook for ASEAN. [6] Analisis rencana pengembangan ketenagalistrikan masing-masing negara. analisis Systemiq. [7] ADB et al. (2023), Renewable Energy Manufacturing: Opportunities for Southeast Asia. *) Negara dengan batasan harga batu bara dan gas domestik. †) Moratorium PLTU diterapkan. ‡) PLTS + baterai (durasi 4-jam, ukuran 40% dari kapasitas tenaga surya)

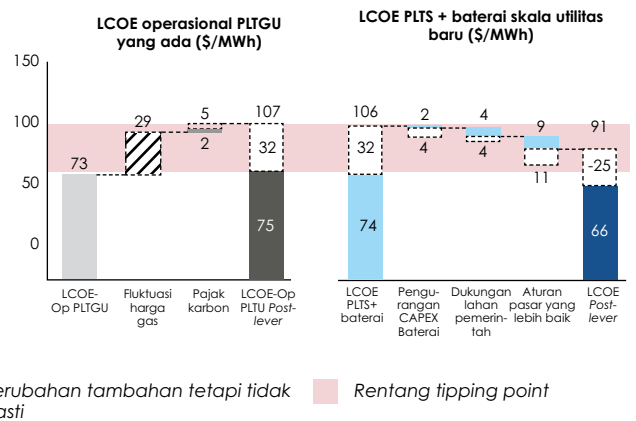
KELOMPOK NEGARA 1: VIETNAM, THAILAND, FILIPINA, MALAYSIA



TIPPING POINT 3



TIPPING POINT 4



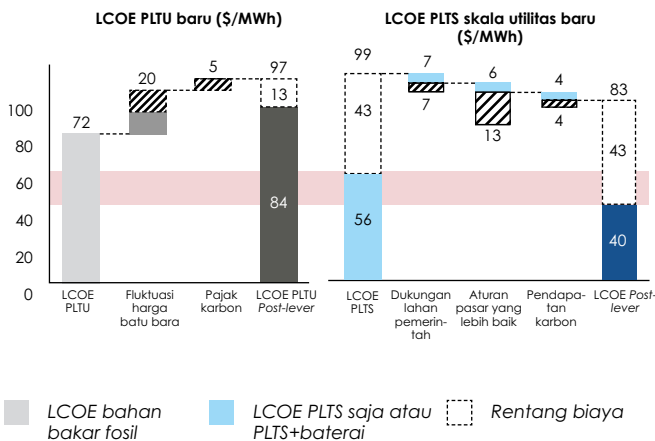
LCOE bahan bakar fosil
 LCOE PLTS saja atau PLTS+baterai
 Rentang biaya
 Perubahan tambahan tetapi tidak pasti
 Rentang tipping point pasti

- **Penggantian PLTU akan menjadi prioritas bagi negara-negara di Kelompok 1 karena LCOE PLTS baru sudah bisa lebih murah daripada biaya marjinal PLTU yang ada.** Hal ini dapat dilakukan tanpa perlu menggabungkan PLTS dengan baterai karena fleksibilitas yang ada biasanya cukup untuk memberikan keseimbangan pada penetrasi VRE <5% (Fase 1 dari integrasi VRE⁸), kecuali untuk Vietnam (13% penetrasi VRE).
- **LCOE PLTS + baterai sudah berada dalam rentang tipping point jika dibandingkan dengan PLTGU yang ada.** Untuk mendorong penetrasi VRE lebih jauh, negara-negara perlu menggabungkan PLTS dengan baterai untuk menyeimbangkan keluaran dan memberikan lebih banyak fleksibilitas sistem. Namun, hal ini hanya akan relevan pada tahap selanjutnya ketika penetrasi VRE telah mencapai >10% (Fase 3).

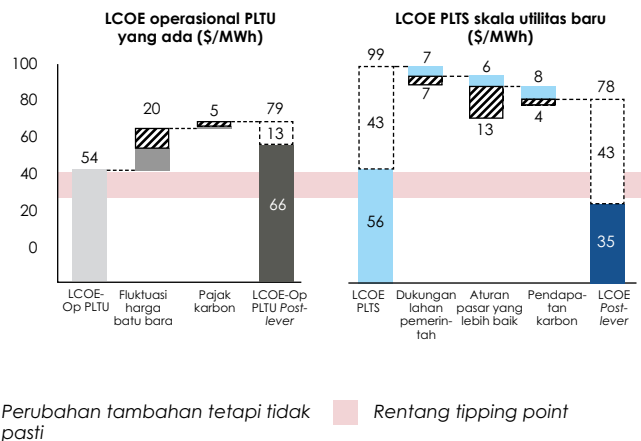
KELOMPOK NEGARA 2: KAMBOJA, LAOS, MYANMAR



TIPPING POINT 3



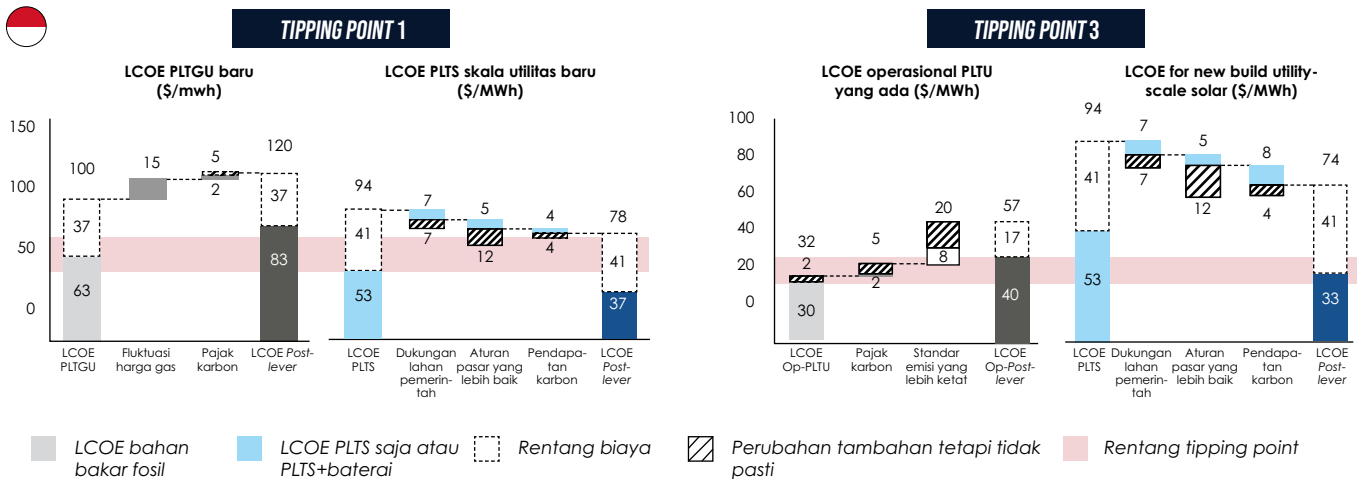
TIPPING POINT 4



LCOE bahan bakar fosil
 LCOE PLTS saja atau PLTS+baterai
 Rentang biaya
 Perubahan tambahan tetapi tidak pasti
 Rentang tipping point pasti

- **T.P.1 mungkin telah tercapai di Kelompok 2, walaupun dengan beberapa ketidakpastian.** Hal ini disebabkan oleh ketidakpastian pasar yang lebih tinggi, kondisi investasi, dan intensitas penyinaran matahari yang lebih rendah. Ini berarti bahwa PLTS sudah bisa lebih kompetitif dalam hal biaya dengan adanya dukungan dari pemerintah, seperti penyediaan lahan dan aturan pasar yang lebih baik (kepastian lelang).
- **T.P. 3 juga bisa dikedepankan lebih lanjut dengan mengakses pembiayaan karbon** dari memadukan pembangunan energi terbarukan dengan penghentian operasional PLTU,** sehingga lebih meningkatkan daya saing biaya PLTS.
- **Karena sebagian besar negara di Kelompok 2 memiliki pangsa pembangkit listrik tenaga air yang besar (~40%) dan masih berada di Fase 1 dari integrasi VRE,⁸ secara teknis tidak diperlukan fleksibilitas sistem tambahan melalui baterai penyimpanan energi.**

KELOMPOK NEGARA 2 DENGAN PEMBATASAN HARGA DALAM NEGERI: INDONESIA



- **Batasan harga domestik yang rendah secara artifisial untuk batu bara (\$70/ton) dan gas (~\$6/MMBtu) membuat PLTS sulit untuk bersaing secara adil.** Terlebih lagi, Indonesia saat ini mempunyai banyak hambatan dalam adopsi PLTS, termasuk: kelebihan kapasitas di beberapa daerah, sistem ketenagalistrikan yang tidak fleksibel karena PPA yang kaku, proses pengadaan yang kurang efisien, aturan pasar yang kurang baik, dan regulasi yang tidak konsisten.
- **Oleh karena itu, menyingkirkan hambatan-hambatan ini sangat penting untuk mempercepat tercapainya tipping point PLTS di Indonesia.** Hal ini dapat mencakup: penghapusan subsidi implisit secara bertahap (misalnya, dari batasan harga domestik), perbaikan aturan dan regulasi pasar, mendukung penyediaan lahan, dan pemanfaatan tenaga surya melalui lelang yang kompetitif. Pembiayaan karbon** dari menggabungkan pembangunan energi terbarukan dengan penghentian operasional PLTU juga dapat mempercepat progress pencapaian tipping point.

Catatan: LCOE dari PLTS dan PLTS + Baterai baru dihitung menggunakan Annual Technology Baseline (ATB) 2021 dari NREL, yang dapat diakses dari <https://atb.nrel.gov/>. LCOE dari pembangkit baru dan LCOE operasi (biaya marjinal) dari pembangkit termal yang sudah ada (misalnya, PLTU batu bara ultra super-kritis, PLTGU (combined-cycle), dan PLTG (open-cycle)) dihitung menggunakan kalkulator LCOE dari IESR, <https://energycost.id/>, dengan input dari Lazard's (2023), Levelized Cost of Energy Analysis, Version 16.0, untuk perbandingan secara global, dan menurut IESR (2023). *Making Energy Transition Succeed: A 2023's Update on The Levelized Cost of Electricity and Levelized Cost of Storage in Indonesia*, untuk asumsi di ASEAN. [8] Berdasarkan enam fase integrasi VRE menurut IEA (2018), *System Integration of Renewables*, di mana Fase 1: VRE belum mempunyai dampak yang kentara pada sistem (penetrasi VRE <5%), Fase 2: VRE memiliki dampak yang kecil hingga sedang pada operasi sistem (penetrasi VRE 5-10%), Fase 3: pembangkitan listrik dengan VRE menentukan pola operasi dari sistem (penetrasi VRE 10-25%), dan Fase 4: Sistem mengalami periode di mana VRE menyumbang hampir seluruh pembangkitan listrik (bisa dimulai dengan penetrasi VRE di atas 20% untuk jaringan yang kurang fleksibel; bahkan seringkali di atas 30% untuk jaringan yang lebih berkembang). Hingga tahun 2022, belum ada negara yang mencapai Fase 5 dan 6, dan oleh karena itu kedua fase tersebut tidak akan dijelaskan secara detail di sini (lihat di sini untuk penjelasan lebih lanjut **). Pendapatan karbon dari percepatan penghentian penggunaan batu bara menggunakan penetapan harga karbon sebesar \$10-\$15/tCO₂e, intensitas emisi PLTU batu bara sebesar 0,9 tCO₂e/MWh, dan intensitas emisi jaringan listrik sebesar 0,3 tCO₂e/MWh untuk penghitungan emisi yang dihindari.

UNTUK NEGARA ASEAN LAINNYA



Untuk Singapura dan Brunei: Negara-negara ini mungkin sebaiknya cenderung untuk mengimpor VRE atau PLTA dari negara-negara tetangga (misalnya Malaysia/Indonesia), dan menjadi pasar yang memicu titik perubahan adopsi PLTS (+ Baterai) di negara-negara ASEAN.



KONDISI YANG MEMUNGKINKAN PEMICUAN *TIPPING POINT*

PROGRESS

KETERJANGKAUAN

- *Tipping point* yang relevan dengan penetrasi VRE saat ini (cetak tebal):
 - [T.P. 1] LCOE PLTS < PLTU/PLTGU baru;
 - [T.P. 2] LCOE PLTS + Baterai < PLTS/PLTGU baru;
 - [T.P. 3] LCOE PLTS < PLTU/PLTGU yang ada;
 - [T.P. 4] LCOE PLTS + Baterai < PLTU/PLTGU yang ada.
- Penurunan harga baterai untuk PLTS + Baterai.
- Peningkatan biaya pengoperasian pembangkit listrik berbahan bakar fosil (contohnya, tarif impor untuk batu bara atau gas).

- ✓ [T.P. 3]: LCOE PLTS di Kelompok 1 sudah bisa lebih rendah daripada LCOE PLTU yang ada (pada \$44-76/MWh vs. \$54-79/MWh).
- ✓ [T.P. 4]: LCOE PLTS + Baterai (durasi 4 jam, 40% kapasitas PLTS, pada \$74-106/MWh) di Kelompok 1 sudah mendekati *tipping point* dibandingkan dengan PLTGU yang ada (\$73-107/MWh), sebagian didorong oleh harga gas alam yang berfluktuasi. Harga ini akan mencapai kesetaraan dengan menerapkan beberapa faktor pendorong seperti pengurangan CAPEX baterai penyimpanan energi, dukungan lahan, atau peningkatan aturan pasar.
- ✓ Rencana investasi untuk manufaktur baterai telah terlihat di seluruh ASEAN (contohnya, LG, CATL, dan REPT di Indonesia; VinES di Vietnam).
- ✓ Tarif impor batu bara, yang sedang dipertimbangkan di Vietnam, kemungkinan akan mempercepat tercapainya *tipping point*.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ❑ **Penyesuaian kebijakan:** Menetapkan target penerapan VRE yang ambisius untuk memanfaatkan sepenuhnya *tipping point* PLTS untuk mencapai *net zero*.
- ❑ **Penyesuaian pengadaan:** Memanfaatkan lelang tenaga surya skala besar untuk lebih menurunkan biaya PLTS/PLTS + Baterai.

DAYA TARIK

- **Fleksibilitas yang memadai dalam sistem** untuk mengatasi *intermittency* (sifat tidak konstan) dan variabilitas dari PLTS dan PLTB.
- **Penguncian PPA bahan bakar fosil telah teratasi.** Perusahaan utilitas dapat menegosiasikan ulang/merestrukturisasi kesepakatan PPA yang ada.
- **Kepastian permintaan dari proyek berskala/volume besar.** Hal ini dapat dicapai melalui lelang energi terbarukan khusus atau pengadaan massal dari kawasan industri/pemain sektor swasta besar.

- ✓ **Fleksibilitas sistem yang ada di Kelompok 1 pada umumnya mampu menyediakan keseimbangan yang diperlukan**, mengingat integrasi VRE di ASEAN sebagian besar masih berada di Fase 1 (<5%), kecuali Vietnam (13% VRE) yang saat ini tengah menghadapi kendala jaringan listrik dan pembatasan (*curtailment*).
- ✗ **Fleksibilitas teknis seringkali memadai, namun ketidakfleksibelan kontrak PPA jangka panjang menyebabkan sistem menjadi "kaku"**. Negosiasi ulang PPA PLTU/PLTGU yang kaku dapat membuka lebih banyak fleksibilitas dalam sistem. Namun sayangnya belum ada kemajuan yang terlihat.
- ✓ **Permintaan PLTS skala besar (dalam skala gigawatt) pada umumnya tersedia di Kelompok 1, walaupun sedang mengalami penurunan di Vietnam** (karena masalah jaringan dan pembatasan). Sementara **Malaysia dan Filipina justru menggunakan lelang terbalik berskala besar untuk pengadaannya**.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ❑ **Penyesuaian kebijakan:** Perencanaan untuk kebutuhan akan fleksibilitas di sistem ketenagalistrikan (menuju *net zero*); Menyederhanakan negosiasi ulang PPA yang kaku untuk membuka fleksibilitas sistem yang lebih besar.
- ❑ **Penyesuaian pengadaan:** Memanfaatkan sepenuhnya dampak penemuan harga dari pengadaan berbasis lelang terbalik.

AKSESIBILITAS

- **Adanya PPA Langsung atau Power Wheeling** untuk meningkatkan akses ke lebih banyak proyek tenaga surya guna mendukung dekarbonisasi industri.
- **Pembangunan dan peningkatan jaringan listrik yang ada** untuk meningkatkan penetrasi energi terbarukan ke jaringan listrik.
- **Pengembangan interkoneksi antar negara-negara ASEAN** adalah kunci untuk meningkatkan aksesibilitas ke negara-negara dengan sumber daya energi terbarukan yang lebih rendah.

- ✓ **Negara-negara seperti Filipina dan Vietnam telah menjajaki skema seperti PPA langsung dan power wheeling** untuk penerapan PLTS skala besar dan PLTS terdistribusi (atap). Thailand sedang menjajaki skema serupa.
- ✓ **Keempat negara tersebut telah menyatakan rencana untuk meningkatkan infrastruktur jaringan listrik mereka dalam rencana pengembangan tenaga listrik (PDP) mereka.**
- ✓ **Interkoneksi antar negara tetangga ASEAN** masih dalam pengembangan, dan semakin pentingnya atribut lingkungan dari energi terbarukan mungkin akan menjadi hambatan.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ❑ **Investasi pada jaringan listrik:** Investasi asing langsung untuk lebih mengembangkan kemampuan jaringan listrik untuk penetrasi energi terbarukan yang meningkat.
- ❑ **Kemajuan infrastruktur:** Investasi dalam teknologi baru untuk meningkatkan konektivitas jaringan listrik dan akses energi.

Legenda: ✓ Progres berjalan dengan baik ✓ Progres beragam ✗ Progres tidak terjadi (atau terjadi sangat lambat)

Catatan: Pedoman pemerinkatan kondisi pendukung *tipping point*: Keterjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga tercapai, Kuning tua – Kesetaraan harga dapat tercapai dengan bantuan lever sebelum 2030, Merah – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi *tipping point*, Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point*, namun kemajuan pesat sedang terjadi, Merah – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point* dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas.

[8] Phase 4 of IEA's six phases of VRE integration, IEA (2018), System Integration of Renewables.



KONDISI YANG MEMUNGKINKAN PEMICUAN *TIPPING POINT*

PROGRESS

KETERJANGKAUAN

- **Tipping point yang relevan dengan penetrasi VRE saat ini (cetak tebal) :**
 - [T.P. 1] LCOE PLTS < PLTU/PLTGU baru;
 - [T.P. 2] LCOE PLTS + Baterai < PLTU/PLTGU;
 - [T.P. 3] LCOE PLTS < PLTU/PLTGU yang ada;
 - [T.P. 4] LCOE PLTS + Baterai < PLTU/PLTGU yang ada.
- Penurunan harga baterai untuk PLTS + Baterai.
- Peningkatan biaya pengoperasian pembangkit listrik berbahan bakar fosil (contohnya, tarif impor untuk batu bara atau gas).

- ✓ [T.P. 1]: LCOE PLTS di Kelompok 2 sudah bisa lebih murah daripada LCOE PLTU baru, walaupun dengan berbagai ketidakpastian.⁹ Untuk Indonesia, hal ini belum tercapai karena adanya pembatasan harga dalam negeri. Namun, terhadap PLTGU, PLTS sudah mendekati tipping point.
- ✓ [T.P. 3]: Demikian pula, LCOE PLTS sudah hampir mencapai kesetaraan harga dengan LCOE PLTU yang ada untuk Kelompok 2 (kecuali Indonesia).
- ✓ Indonesia sudah memiliki rencana investasi untuk manufaktur baterai hilir (LG, CATL, RPET).
- ✓ Peningkatan harga batu bara/gas akibat gejala pasar internasional mungkin terjadi, walaupun tampaknya tidak akan terjadi di Indonesia, setidaknya dalam jangka menengah (3 tahun ke depan).

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ❑ **Penyesuaian kebijakan:** Merencanakan penghentian subsidi bahan bakar fosil secara bertahap untuk menciptakan ruang kompetisi yang adil bagi energi terbarukan. Pembiayaan untuk percepatan penghentian penggunaan batu bara juga akan mendukung hal tersebut.
- ❑ **Penyesuaian desain pasar:** Memperbaiki aturan pasar dengan menciptakan kepastian pasar, meningkatkan alokasi risiko yang adil untuk PPA, dan menyediakan regulasi yang jelas & konsisten.

DAYA TARIK

- **Fleksibilitas yang memadai dalam sistem** untuk mengatasi *intermittency* (sifat tidak konstan) dan variabilitas dari PLTS dan PLTB.
- **Penguncian PPA bahan bakar fosil telah teratasi.** Perusahaan utilitas dapat menegosiasikan ulang/merestrukturisasi kesepakatan PPA yang ada.
- **Permasalahan kelebihan kapasitas sistem yang sudah teratasi** di beberapa negara seperti Indonesia dan Laos, untuk memberikan ruang bagi VRE.
- **Kepastian permintaan dari proyek berskala/volume besar.** Hal ini dapat dicapai melalui lelang energi terbarukan khusus atau pengadaan massal dari kawasan industri/pemain sektor swasta besar.

- ✓ **Fleksibilitas sistem yang ada di negara-negara Kelompok 2 secara umum mampu memberikan keseimbangan yang diperlukan** mengingat penetrasi VRE di Kelompok 2 masih di bawah 1%, kecuali Kamboja.
- ✗ Meskipun memiliki fleksibilitas teknis, **ketidakfleksibelan kontrak PPA jangka panjang seringkali menyebabkan sistem menjadi "kaku"**. Belum ada kemajuan yang terlihat dalam renegotiasi/restrukturisasi PPA.
- ✓ **Di Indonesia dan Laos, permasalahan di atas diperparah dengan adanya kelebihan kapasitas.** Indonesia saat ini sedang melaksanakan pengakhiran dini operasional PLTU, sebagian untuk mengatasi masalah kelebihan kapasitas.
- ✗ **Metode lelang yang ada di Kelompok 2 saat ini umumnya bersifat sporadis dan hanya dilakukan sekali saja** dengan risiko biaya hangus yang sangat besar bagi pengembang proyek.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ❑ **Penyesuaian kebijakan:** Menyederhanakan strategi nasional untuk penghentian bertahap penggunaan batu bara dan negosiasi ulang PPA yang kaku untuk memungkinkan fleksibilitas sistem yang lebih tinggi.
- ❑ **Penyesuaian pengadaan:** Mengembangkan pipa proyek PLTS berskala gigawatt dan merancang lelang PLTS skala besar untuk menurunkan LCOE 'lokal' PLTS melalui skala ekonomi.

AKSESIBILITAS

- **Adanya PPA langsung atau Power Wheeling** untuk meningkatkan akses ke pengembang proyek.
- **Pembangunan dan peningkatan jaringan listrik yang ada** untuk meningkatkan penetrasi energi terbarukan ke jaringan listrik.
- **Pengembangan interkoneksi antar negara-negara ASEAN** adalah kunci untuk meningkatkan aksesibilitas ke negara-negara dengan sumber daya energi terbarukan yang lebih rendah.

- ✗ **Beberapa negara di Kelompok 2 masih belum memperbolehkan power wheeling atau PPA langsung** (sebagian karena undang-undang ketenagalistrikannya)
- ✓ **Beberapa negara masih harus memprioritaskan investasi dalam T&D** untuk meningkatkan keandalan di wilayah-wilayah tertentu sebelum meningkatkan jaringan listrik utama untuk memungkinkan penetrasi energi terbarukan
- ✓ **Interkoneksi di ASEAN masih dalam tahap pengembangan, dan rencananya 20 GW akan didedikasikan untuk keperluan interkoneksi.¹⁰ Namun, atribut lingkungan hidup dari energi terbarukan mungkin akan menjadi penghalang.**

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ❑ **Penyesuaian kebijakan:** Menerapkan *power wheeling* untuk meningkatkan aksesibilitas ke energi terbarukan.
- ❑ **Investasi pada infrastruktur transmisi:** Investasi untuk meningkatkan jalur transmisi.
- ❑ **Peningkatan interkoneksi:** Mempercepat pelaksanaan program peningkatan interkoneksi untuk mempercepat pembangunan energi terbarukan.

Legenda: ✓ Progres berjalan dengan baik ✓ Progres beragam ✗ Progres tidak terjadi (atau terjadi sangat lambat)

Catatan: Pedoman pemeringkatan kondisi pendukung *tipping point*: Katerjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga tercapai, Kuning tua – Kesetaraan harga dapat tercapai dengan bantuan lever sebelum 2030, Merah – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi *tipping point*, Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point*, namun kemajuan pesat sedang terjadi, Merah – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point* dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas.

[9] Lanskap politik Myanmar menjadi hambatan dalam bisnis. Kerangka peraturan dan perencanaan Laos masih tertinggal dibandingkan negara-negara ASEAN lainnya. [10] SEADS (2023), *Building the ASEAN Power Grid: Opportunities and Challenges*.

TRANSPORTASI: KENDARAAN LISTRIK RODA DUA (E2W)

4% DARI TOTAL EMISI
GRK ASEAN TAHUN 2020

KONTEKS SEKTOR GLOBAL

- **Peralihan ke kendaraan listrik diperlukan untuk mencapai dekarbonisasi penuh di transportasi jalan raya.** Bersama dengan itu, pengurangan permintaan dan perubahan perilaku juga penting, misalnya, penggunaan transportasi umum dan tata kota yang lebih baik.
- **Elektrifikasi terjadi lebih cepat di kendaraan roda dua daripada mobil.** Penjualan kendaraan listrik roda dua (E2W) telah menyumbang 44% dari penjualan kendaraan listrik berbasis baterai baru pada tahun 2020, didominasi oleh Cina yang berkontribusi 60% terhadap penjualan EV global.^{1,2}
- **95% dari kendaraan roda dua global berada di Asia,** dan ASEAN adalah pasar terbesar setelah Cina & India.²

KONTEKS SEKTOR GEOGRAFIS



Kendaraan roda dua merupakan moda transportasi utama di ASEAN, menyumbang 20% dari keseluruhan armada roda dua di dunia.³

- **Indonesia (47%), Vietnam (31%), Thailand (9%) adalah hotspot kendaraan roda dua,** menyumbang 90% dari armada roda dua di ASEAN.⁴ Didominasi oleh skuter dan moped, yang menyusun 90% dari armada.⁵
- **Laju adopsi di ASEAN masih belum setinggi di Cina atau India,** karena harga unit kendaraan baru yang 1-2x lebih tinggi dibanding kendaraan roda dua bermesin pembakaran internal (ICE 2W) (~\$600 hingga 800 vs. \$1000 hingga 1250 untuk kelas baterai 1 hingga 1,5 kWh),⁶ dan juga masalah aksesibilitas & daya tarik.
- **Negara-negara menerapkan insentif** seperti PPN 0% untuk kendaraan listrik.⁷

STATUS SOLUSI DI ASEAN

Tahapan status solusi: ● Pengembangan solusi ➤ ● Pasar khusus ➤ ● Pasar massal



Sektor ini masih berada di perbatasan dari pasar khusus menuju ke pasar massal dengan berbagai negara menerapkan subsidi pembelian untuk mengatasi kesenjangan harga.



Elektrifikasi kendaraan roda dua sedang dimulai di ASEAN. Biaya kepemilikan total (TCO) menjadi kompetitif, tapi hanya 2% (~42,000) yang sudah dielektrifikasi.⁵



Armada mengalami elektrifikasi lebih cepat daripada pasar massal di ASEAN. Keseluruhan pertumbuhannya diproyeksikan sebesar 4-5% per tahun, dengan penjualan ~12,000 per tahun,⁵ sebagian besar untuk jasa tumpangan/logistik.



Lanskap teknologi pengisian daya & baterai. Masih ada persaingan antara dua jenis teknologi untuk baterai (Li-ion vs Lead Acid⁸), dan pengisian daya (plug-in vs. swap-based), serta kelangkaan stasiun pengisian daya.

TIPPING POINT DAN STATUS LAJU ADOPSI

Status tipping point

TIPPING POINT 1

TCO dari E2W < TCO dari ICE 2W

- **Tipping point ini sudah tercapai di negara-negara besar ASEAN.** Vietnam, Thailand, Malaysia, dan Filipina telah mencapainya karena biaya operasional yang lebih rendah dan pembebasan PPN.⁷
- **Tipping point ini selaras dengan pasar dari armada,** dengan biaya kepemilikan total (TCO) menjadi faktor utama dalam pengambilan keputusan.
- **Faktor pendorong utama untuk tipping point ini adalah harga unit kendaraan baru, tarif listrik, dan ketersediaan stasiun pengisian daya.**

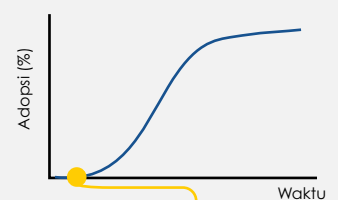
TIPPING POINT 2

Harga unit E2W baru < Harga unit ICE 2W baru

- **Tipping point ini belum tercapai untuk kelas kendaraan yang sama di wilayah ASEAN.** Faktor pendorong utama untuk tipping point ini adalah harga baterai.
- **Menerapkan pembebasan PPN atau subsidi langsung** adalah kunci untuk pembelian E2W untuk membuat kendaraan listrik ini lebih kompetitif dibanding ICE.
- **Tipping point ini harus dilihat dari perspektif arus kas, yang merupakan faktor penting dalam pengambilan keputusan:** harga beli unit baru, bahkan dengan pembiayaan yang sama, menghambat adopsi pasar massal.

Legenda: ✔ Sebagian besar tercapai ● Tercapai di beberapa kasus - Tidak tercapai

Status adopsi saat ini:

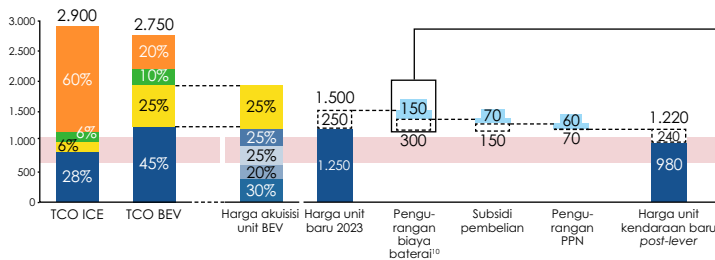


Walaupun TCO kompetitif, peningkatan laju adopsi masih sangat rendah. Pasar penggerak mula-mula, armada kendaraan dan pasar kelas atas, menghadapi permasalahan mulai dari aksesibilitas (misalnya, stasiun pengisian daya) dan daya tarik (misalnya, branding, kesesuaian pasar dan produk, serta waktu pengisian daya).

Catatan: [1] BloombergNEF (2022), *Electric Vehicle Outlook*; [2] IEA (2023), *Global EV Outlook 2023*; [3] Data di ASEAN (n.d.); [4] ICCT (2022), *Market Analysis of Two- and Three-wheeler Vehicles in Key ASEAN Member States*; [5] McKinsey (2023), *The real global EV buzz comes on two wheels*; [6] Analisis Systemiq, BloombergNEF (2022), *Electric Vehicle Outlook*; [7] HKTDC Research (2023), Filipina: Aturan Zero-rating PPN untuk Input Deklarifikasi, Pengumuman Anggaran Malaysia; [8] ICCT (2023), *Perbandingan Biaya Kepemilikan Total untuk E2W di Vietnam*.

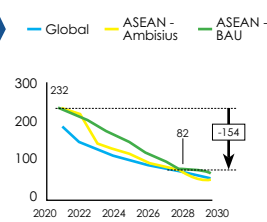
TIPPING POINT UNTUK E2W

TCO 5-tahun (dalam \$) untuk pasar massal E2W vs ICE untuk 2WT?



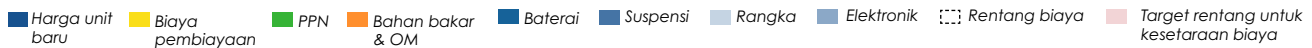
Faktor pendorong yang dapat menurunkan harga unit E2W baru (dalam \$) di pasar massal

Kurva biaya baterai^[1], global vs ASEAN (dalam \$/KWh)



- **Tipping point TCO telah tercapai.**
- **Harga unit baru, yang relevan untuk adopsi pasar massal belum mendekati tipping point** kecuali ada pengurangan harga baterai.
- **Solusi potensial:** 1) Investasi di industri baterai, 2) Insentif (contohnya, PPN/subsidi).

Biaya baterai, yang mewakili 30% harga unit baru E2W, dapat dikurangi lebih jauh lagi seiring dengan learning rate penggunaan baterai dan peningkatan R&D di manufaktur baterai.



KONDISI YANG MEMUNGKINKAN PEMICUAN TIPPING POINT

PROGRESS

KETERJANGKAUAN

- **Kesetaraan biaya untuk harga unit kendaraan baru** (yaitu, harga retail sebelum pajak) untuk kendaraan E2W di seluruh kawasan—terutama tergantung dari harga baterai.
- **Mengurangi arus kas selama penggunaan** dengan adanya pembiayaan dengan bunga rendah, penyediaan layanan purna jual gratis, dan asuransi yang lebih baik.
- **Penyesuaian kebijakan untuk menutup kesenjangan harga** antara E2W dan ICE 2W, serta memberikan subsidi langsung bagi pembelian E2W.
- **Sistem subsidi yang dioperasionalkan** untuk mengurangi biaya unit baru lebih jauh lagi.

- ✓ **Kesetaraan harga unit baru masih menjadi permasalahan.** Harga sebuah unit baru E2W kelas bawah di ASEAN adalah 1-2x lebih tinggi dibandingkan ICE.⁶
- ✗ **Pembiayaan berbunga rendah sedang dikembangkan oleh bank,** namun ketertarikan akan produk masih rendah.
- ✓ **Insentif pendukung.** Beberapa negara, seperti Malaysia, Filipina, dan Brunei telah menerapkan PPN 0%⁷ untuk transportasi hijau, sementara Indonesia menerapkan PPN 1%.¹²
- ✓ **Sistem subsidi di negara-negara ASEAN belum dapat terwujud.** Indonesia baru-baru ini mengeluarkan subsidi insentif pembelian E2W untuk meningkatkan penggunaannya.¹³

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- **Penyesuaian kebijakan:** Kebijakan tambahan untuk memberikan insentif bagi produsen untuk penetrasi E2W, sehingga mengurangi biaya.
- **Investasi untuk baterai:** Memperbesar produksi baterai untuk memperoleh keuntungan dari skala ekonomi.
- **Memperbaiki biaya pembiayaan:** Bank dan pemberi pinjaman perlu mengurangi biaya untuk pembiayaan & tarif sewa hak guna.

DAYA TARIK

- **Kinerja dan desain yang sesuai dengan target pasar. Mencapai kesesuaian antara produk dan pasar yang sesuai dengan karakteristik pasar.**
- **Kesadaran akan merek yang sebanding untuk E2W dan ICE 2W.**
- **Ketersediaan insentif lanjutan di luar TCO dan harga unit kendaraan baru.**
- **Peningkatan kesadaran akan manfaat kesehatan dari menggunakan E2W karena emisi yang dikeluarkan lebih sedikit**
- **Perluasan jaringan purna jual yang sebanding dengan ICE.**

- ✓ **Dunia usaha mulai tertarik, namun konsumen belum siap.** Hanya 2% dari kendaraan roda dua telah terelektifikasi,⁵ sebagian besar adalah para pemilik armada karena hal ini masih dipandang kurang menarik bagi konsumen pasar massal.
- ✓ **Kesadaran akan merek bagi OEM** masih sangat rendah.¹¹
- ✗ **Tidak ada insentif lanjutan yang diterapkan,** misalnya bebas parkir dan akses ke jalur yang dipilih.
- ✓ **Pembiayaan BEV dengan bunga rendah sedang dikembangkan** oleh bank.¹¹

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- **Mendukung R&D untuk OEM:** Untuk mencapai kesesuaian produk-pasar dan mengurangi biaya manufaktur teknologi.
- **Biaya pembiayaan yang lebih baik:** <lihat bagian sebelumnya>.
- **Menerapkan lebih banyak insentif:** Mengidentifikasi insentif non-biaya untuk menarik pasar lebih jauh lagi.

AKSESIBILITAS

- **Peningkatan keandalan pasokan listrik** untuk memenuhi peningkatan permintaan karena adanya penetrasi EV.
- **Perluasan lokasi stasiun pengisian daya umum** baik dalam hal kuantitas dan penyebarannya untuk memastikan cakupan yang lebih luas dan aksesibilitas.

- ✗ **Masih terpusat di kota besar.** Ada sekitar 6,000 stasiun pengisian daya di negara-negara ASEAN, namun sebagian besar berada di kota-kota besar.¹⁴
- ✓ **Perlu meningkatkan keandalan listrik.** Waktu pengisian daya yang lebih lama (6-8 jam di rumah vs 4 jam di stasiun pengisian daya umum), berarti bahwa keandalan listrik akan menjadi hal utama. Beberapa negara ASEAN masih berkutat dengan 0.74 and 0.82 SAIDI & SAIFI.¹⁵

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- **Kemajuan infrastruktur:** Meningkatkan infrastruktur pengisian daya umum dan keandalan listrik.

Legenda: ✓ Progres berjalan dengan baik ✓ Progres beragam ✗ Progres tidak terjadi (atau terjadi sangat lambat)

Catatan: Pedoman pemeringkatan kondisi pendukung tipping point: Keterjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi tipping point. Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi tipping point, namun kemajuan pesat sedang terjadi. Merah – Saat ini ada hambatan bagi tipping point dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas.

[9] TCO dihitung untuk moped/skuter dengan rentang baterai ~1 hingga 1,5 kWh; [10] Biaya baterai diasumsikan sebesar ~\$250/kWh, berdasarkan wawancara dengan industri; [11] BloombergNEF (2022), *Electric Vehicle Outlook 2021*. Kurva pembelajaran baterai global menggunakan laju pembelajaran 17 dan 18%. Kurva pembelajaran untuk baterai di ASEAN disesuaikan, dengan laju pembelajaran 15% untuk merefleksikan rantai nilai baterai yang sedang berkembang di kawasan; [12] Kantor Staf Presiden Republik Indonesia (2023), *Government's VAT Incentives to Boost Electric Vehicle Ecosystem*; [13] Indonesia Investments (2023), *Indonesian Government to Offer USD \$275 Subsidy to Encourage Electric Motorcycles Sales*; [14] Analisis Systemia, *Power Technology Research (2022)* dan laporan-laporan pemerintah; [15] D. Kammen (2019), *ASEAN grid flexibility: Preparedness for grid integration of renewable energy*. SAIDI = System Average Interruption Duration Index, SAIFI = System Average Interruption Frequency Index.

TRANSPORTASI: BUS LISTRIK (E-BUS)

2% DARI TOTAL EMISI
GRK ASEAN TAHUN 2020

KONTEKS SEKTOR GLOBAL

- **Pengelektrifikasian transportasi umum jalan raya penting untuk mengurangi 5% hingga 7% emisi global.**¹ Oleh karena itu, beralih ke bus listrik akan membantu mempercepat dekarbonisasi transportasi umum jalan raya.
- **Modal di muka (upfront capital) bus listrik masih terbilang tinggi jika dibandingkan dengan bus konvensional atau internal combustion engine (ICE), akan tetapi biaya kepemilikan totalnya (Total Cost of Ownership/TCO) sudah sebanding.** Modal di muka bus listrik, yang meliputi biaya kendaraan & sistem pengisian daya, bisa 2.5-4x lebih tinggi dari bus ICE.²
- **Secara global, 4.5% bus umum sudah dielektrifikasi** dan sudah mewakili 38% dari seluruh penjualan bus pada tahun 2022, digawangi oleh pasar kendaraan listrik (Electric Vehicle (EV)) Cina. Sebagian besar elektrifikasi terjadi di Eropa, AS, dan Cina.^{3,4}

KONTEKS SEKTOR GEOGRAFIS



Di ASEAN

Peralihan ke transportasi umum merupakan faktor pendorong dekarbonisasi universal. Pengelektrifikasian bus untuk transportasi umum akan relevan untuk semua negara ASEAN.

- **Singapura secara konsisten berada di peringkat 10 teratas dalam indeks transportasi umum berkelanjutan;**⁵ namun negara-negara ASEAN yang lain masih tertinggal.
- **Thailand (68 ribu), Myanmar (29 ribu), dan Filipina (17 ribu) memiliki armada bus terbanyak di ASEAN.**^{6,7} Ketiga negara tersebut dan Singapura juga memiliki rasio kendaraan bus terhadap jalan raya (bus-to-road ratio) terbesar.
- **Negara-negara ASEAN telah mengembangkan kemampuan untuk memproduksi bus listrik.**⁸ Hal ini merupakan kunci untuk menurunkan biaya bus dan mempercepat kurva pembelajaran.
- **Sebagian besar dari kota-kota besar di ASEAN memiliki model Bus Rapid Transit (BRT),⁹ dengan operator yang memiliki asetnya sendiri (umur aset relatif muda),¹⁰ hal ini membuat upaya peningkatan penggunaan bus listrik menjadi semakin kompleks.**

STATUS SOLUSI DI ASEAN

Tahapan status solusi: ● Pengembangan solusi > ● Pasar khusus > ● Pasar massal



Bus listrik berada di tahap perbatasan antara pasar khusus dan pasar massal. Bus listrik dapat dengan mudah mencapai pasar massal jika pemerintah mendapatkan dukungan pembiayaan untuk akuisisi kendaraan baru.



Laju penetrasi di ASEAN masih cukup rendah. Penetrasi bus listrik diperkirakan berada di bawah 5%.¹¹



Permasalahan yang dihadapi mencakup usia armada aset yang ada, biaya untuk memulai/biaya di muka yang tinggi, serta kenyamanan & keandalan. Otoritas publik atau operator bus mungkin memiliki keterbatasan, pemilik armada bus ICE yang lebih muda ragu-ragu untuk beralih, dan bus listrik memerlukan waktu 3-6 jam untuk mengisi daya dibandingkan dengan bus ICE yang hanya <1 jam.



Model bisnis/pembiayaan yang inovatif telah diadopsi. Beberapa diantaranya telah mengadopsi model sewa hak guna (leasing) dan pembiayaan karbon (contohnya, Thailand dengan Pasal 6.2).¹²

TIPPING POINT DAN STATUS LAJU ADOPSI

Status tipping point

- **TIPPING POINT 1**
TCO bus listrik < TCO bus ICE
 - **TIPPING POINT 2**
Pengakhiran dini operasional armada bus ICE yang ada
- **Tipping point pertama telah tercapai di beberapa kasus/wilayah,** karena biaya bahan bakar (listrik vs. bahan bakar fosil) dan biaya operasi dan perawatan (O&M) yang lebih rendah.
 - **Tempat pengisian daya yang andal, terjangkau, dan mudah diakses** (dan pasokan listrik yang dibutuhkan) akan menjadi kunci utama untuk menjaga TCO dan keandalan e-bus.
 - **Meskipun ini bukan tipping point sosio-ekonomi, armada ICE yang lebih muda telah menjadi penghalang bagi peningkatan adopsi bus listrik.** Mengatasi permasalahan tersebut merupakan tipping point yang penting bagi sektor ini.

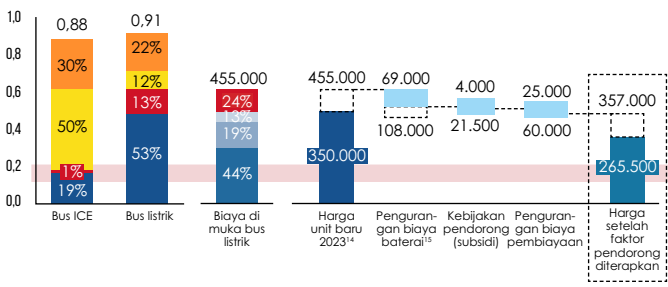
Status adopsi saat ini

- Walaupun TCO sudah semakin kompetitif, peningkatan laju adopsi masih sangat lambat.
-
- **Investasi di rantai nilai baterai** untuk mempercepat kurva pembelajarannya.
 - **Kebijakan yang tepat sasaran, misalnya subsidi bagi OEM atau pengadaan secara massal oleh pemerintah.**
 - **Mekanisme pengakhiran dini operasional armada bus ICE yang lebih muda.**
 - **Memperkenalkan model bisnis yang inovatif** untuk tidak hanya mengurangi arus kas, namun juga **memungkinkan pembagian risiko** dari komponen kendaraan.

Legenda: ● Sebagian besar tercapai ● Tercapai di beberapa kasus — Tidak tercapai

Catatan: [1] IEA (2019), Transport sector CO₂ emissions by mode in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030; [2] Arthur D Little (2020), Electric Buses; [3] IEA (2022), Global EV Outlook 2023; [4] BloombergNEF (2023), Electric Vehicle Outlook 2023; [5] Oliver Wyman (2023), Urban Mobility Readiness Report 2022; [6] ASEANStats (2018), Jumlah bus umum (dalam ribuan); [7] Statista Research Department (2023), Jumlah bus swasta yang terdaftar di Filipina tahun 2020-2022; [8] BIMP-EAGA (2022), ASEAN Gears Up for a Shift to Electric Vehicles, Analisis Sistem; [9] T. Satiennam et al. (2006), A study on the introduction of bus rapid 24 transit system in Asian developing cities; [10] Wawancara dengan para ahli dan pelaku industri; [11] ICCT (n.d.), Statistik penggunaan/penyebaran kendaraan tanpa emisi; [12] Quantum Commodity Intelligence (2023), Switzerland, Thailand agree e-bus ITMO scheme under Article 6.

Biaya kepemilikan total (TCO) untuk bus listrik vs bus ICE (dalam \$/km)¹³



TCO hampir tercapai, namun biaya di muka bus listrik masih tinggi.

Pengurangan biaya di muka dan dukungan kebijakan dapat membawa semakin dekat kepada kesetaraan harga unit baru.



Peningkatan adopsi bus listrik akan memerlukan kemampuan untuk menerapkan model bisnis/pembiayaan yang inovatif, untuk mengubah Capex (Belanja Modal) menjadi Opex (melalui pembagian risiko) atau mengurangi biaya di muka secara langsung:

- Sewa dan mengoperasikan.** Entitas operator non-bus (misalnya perusahaan utilitas) mengadakan bus listrik & menyewakannya ke operator tradisional.
- Mobilitas sebagai Layanan.** OEM menawarkan kendaraan + pengisian daya kepada operator berbasis pay-to-use (bayar untuk menggunakan), tanpa kepemilikan aset.
- Fasilitas pembiayaan khusus.** Menawarkan pembiayaan dengan tingkat bunga yang lebih rendah untuk bus listrik atau insentif keuangan untuk mengakhiri operasional bus ICE secara dini.
- Pembiayaan karbon.** Pasar sukarela (*voluntary*) atau skema bilateral untuk membantu modal di muka atau meningkatkan arus kas operasional.

KONDISI YANG MEMUNGKINKAN PEMICUAN *TIPPING POINT*

PROGRESS

KETERJANGKAUAN

- Kurva pembelajaran baterai yang terus berlanjut untuk menurunkan biaya di muka bus listrik, yang saat ini menyumbang sekitar 50 hingga 60% dari total TCO.¹³
- TCO yang diturunkan, dari biaya infrastruktur pengisian daya dan biaya terkait pengisian daya (tarif listrik).
- Penerapan model bisnis untuk mengurangi modal di muka, seperti sewa & mengoperasikan, fasilitas pembiayaan khusus, atau mekanisme pembiayaan karbon.
- Lingkungan kebijakan/regulasi yang lebih baik untuk memungkinkan entitas baru memasuki ekosistem transportasi bus, melihat adanya beberapa aspek tak berwujud dari ekosistem saat ini yang menghambat penerapan model bisnis.

- ✓ **Investasi pada manufaktur baterai dan bus listrik** (termasuk rantai pasokan mineral kritis) sedang mengalami kemajuan di seluruh ASEAN.
- ✓ **Infrastruktur pengisian daya dan biaya pengisian daya terkait mungkin telah membuat TCO bus listrik bisa bersaing dengan bus ICE** pada rute dan jenis pengisian tertentu, karena TCO sangat bergantung pada rute.¹³
- ✓ **Beberapa studi kasus tentang sewa-dan-mengoperasikan** (contoh, Enel X di Santiago)¹⁴ dan **Fasilitas Pembiayaan Khusus** (contoh, IFC) telah diterapkan untuk bus listrik di Amerika Latin. **Thailand telah berhasil menggalang pembiayaan bus listrik yang inovatif** melalui mekanisme Pasal 6.2, dengan Swiss sebagai penyandang dananya.¹²
- ✗ **Hambatan untuk masuk masih tinggi**, dalam hal perizinan.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ☐ **Penyesuaian kebijakan:** Dukungan peraturan (misalnya, proses pengadaan atau perizinan untuk non-operator untuk mengadakan kontrak dengan otorita transportasi) untuk model bisnis yang inovatif.
- ☐ **Investasi untuk baterai:** Memperbesar skala produksi baterai untuk mendapatkan keuntungan dari skala ekonomi.
- ☐ **Pembiayaan usaha yang inovatif:** Upaya yang berkelanjutan untuk mengakses pembiayaan karbon atau membangun fasilitas pembiayaan.

DAYA TARIK

- Pemisahan/pengurangan biaya baik itu melalui model sewa & mengoperasikan maupun pengurangan langsung melalui pembiayaan khusus atau mekanisme pembiayaan karbon.
- Peningkatan mekanisme dan infrastruktur pengisian daya untuk lebih meningkatkan aksesibilitas ke rute tidak tetap/panjang.
- Urgensi yang lebih tinggi untuk kualitas udara yang lebih baik di kota-kota metropolitan, untuk mempengaruhi dorongan masyarakat terhadap pengadaan bus listrik.

- ✓ **Model bisnis inovatif untuk bus listrik** telah digunakan secara global namun belum menjadi arus utama di ASEAN.
- ✓ **Dorongan untuk kualitas udara dan kesadaran yang lebih baik telah meningkat pasca-COVID-19.** Hal ini terlihat dari maraknya media sosial yang menciptakan gerakan-gerakan mengenai hal ini.
- ✗ **Infrastruktur pengisian daya belum dikembangkan dengan baik.**

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ☐ **Penyesuaian kebijakan:** Dukungan peraturan agar model bisnis yang inovatif dapat berhasil diterapkan.
- ☐ **Dorongan dari masyarakat:** Lebih memperkuat dorongan untuk kualitas udara yang lebih baik di kota-kota metropolitan.

AKSESIBILITAS

- Peningkatan mekanisme dan infrastruktur pengisian daya untuk lebih meningkatkan aksesibilitas ke rute tidak tetap/panjang.

- ✗ **Infrastruktur pengisian daya belum dikembangkan dengan baik** untuk rute tidak tetap/rute panjang karena kurangnya rencana penerapan yang jelas, meskipun infrastruktur pengisian daya semakin meningkat untuk rute BRT (kebanyakan melalui depot pengisian daya)

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- ☐ **Penyesuaian kebijakan:** <lihat penjelasan sebelumnya>.
- ☐ **Model bisnis/pembiayaan inovatif:** <lihat penjelasan sebelumnya>.

Legenda: ✓ Progres berjalan dengan baik ✓ Progres beragam ✗ Progres tidak terjadi (atau terjadi sangat lambat)

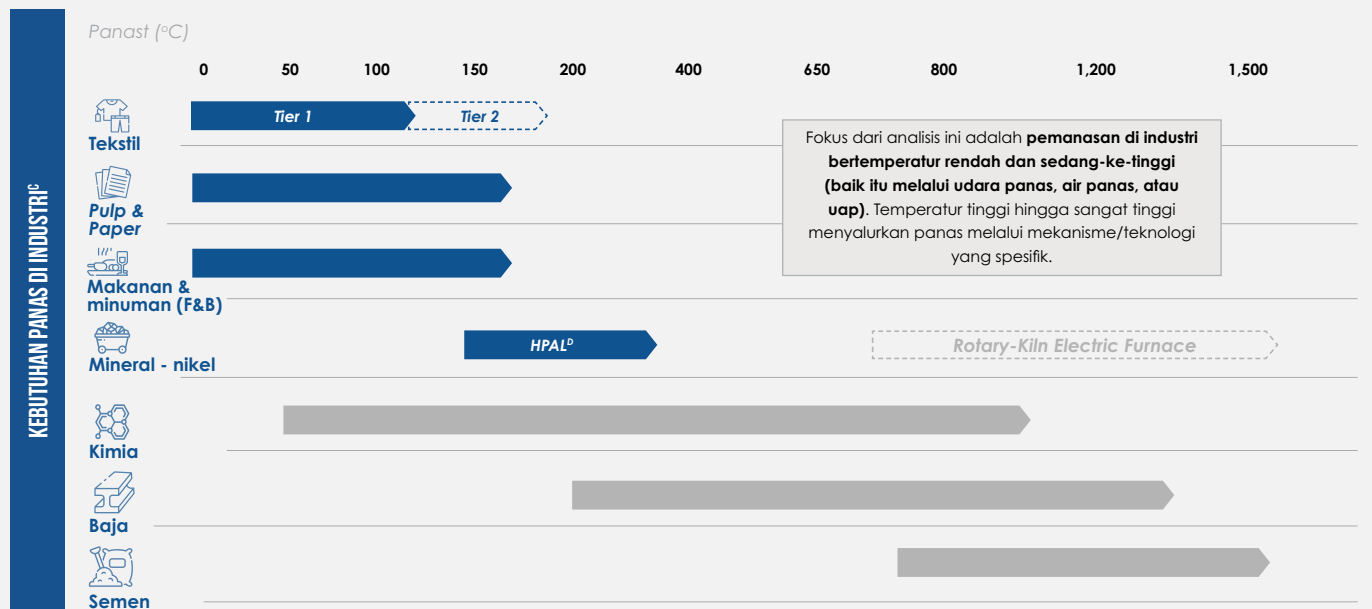
Catatan: Pedoman pemeringkatan kondisi pendukung *tipping point*: Keterjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga tercapai, Kuning tua – Kesetaraan harga dapat tercapai dengan bantuan lever sebelum 2030, Merah – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi *tipping point*, Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point*, namun kemajuan pesat sedang terjadi, Merah – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point* dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas.

[13] ICCT (2023), *Evaluation of factors that affect total cost of ownership in support of Transjakarta's electric bus adoption plans*; [14] Analisis Systemiq; [15] Menggunakan harga baterai \$275-300/kWh, berdasarkan data BloombergNEF untuk harga battery pack di Uni Eropa; [16] Morris, C (2020), IEA Studi kasus #2: *Electric buses in Santiago, Chile*.

MANUFATUR: PEMANASAN DI INDUSTRI

4% DARI TOTAL EMISI GRK
ASEAN PADA TAHUN 2020

KONTEKS SEKTOR GLOBAL



JALUR DEKARBONISASI PEMANASAN DI INDUSTRI

Saat ini ada berbagai solusi dekarbonisasi: **elektrifikasi langsung** (misalnya, *heat pump* (pompa kalor), penyimpanan termal), panas rendah karbon (misalnya, tenaga surya terkonsentrasi), **dan bahan bakar rendah karbon untuk kondisi tertentu** (misalnya, biomassa yang murah & pasokannya berkelanjutan):

Solusi lama



Pemanasan berbasis batu bara

Boiler biomassa/gas

Pembakaran bersama (*co-firing*) dengan produk sampingan biomassa atau gas, tergantung dari proses industrinya.

1

Solusi rendah karbon



Heat pumps (pompa kalor)

Menggunakan *heat pump* (bisa juga untuk pemanasan resistif terelektrifikasi (ohmik) untuk suhu yang lebih tinggi dan kebutuhan kontrol yang presisi) di wilayah dengan listrik yang relatif murah.

2



Electric-Thermal Energy Storage (ETES)

Menggunakan ETES di wilayah-wilayah yang memiliki listrik dari energi terbarukan *intermittent* yang murah.

3



Panas matahari terkonsentrasi (*concentrated solar thermal*)

Mengevaluasi panas matahari di area yang menguntungkan untuk tenaga surya.

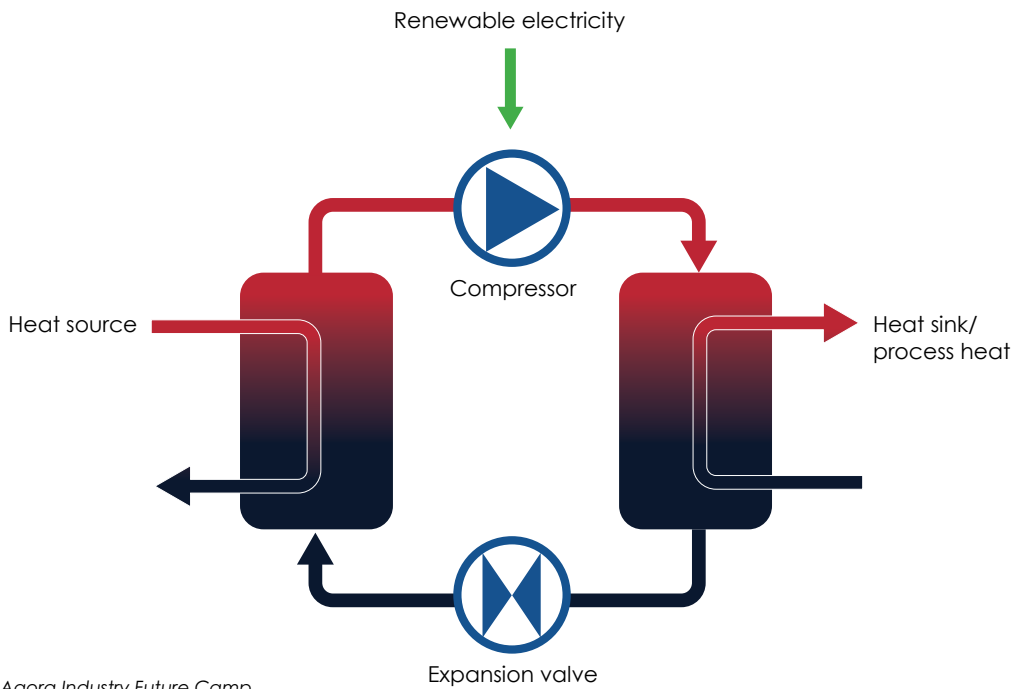
4

Fokus analisis ini adalah **elektrifikasi pemanasan secara langsung, yang merupakan solusi tahap akhir (end-state) yang dominan.**

Karena penggunaan bahan bakar alternatif bersifat spesifik pada lokasi/industri atau mempunyai kendala pasokan (misalnya biomassa), maka penggunaan bahan bakar alternatif hanya dianggap sebagai solusi khusus.

PENGENALAN TEKNOLOGI PANAS INDUSTRI

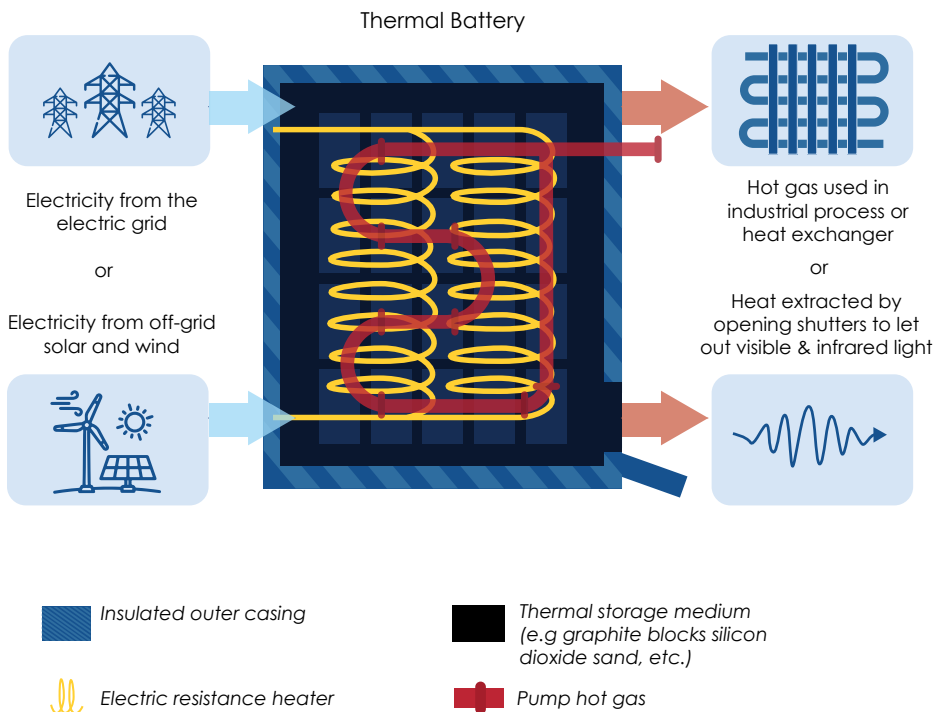
Heat pumps^E



Agora Industry Future Camp

- **Teknologi yang sederhana.** Prinsip kerja **heat pump bersumber udara (Air-sourced Heat Pump)** pada dasarnya seperti sistem pendingin udara (AC), hanya kebalikannya. Pompa tersebut mengekstraksi panas dari sumber (misalnya, udara sekitar atau panas buangan), menaikkan suhu melalui kompresi, dan memindahkan panas ke tempat yang memerlukannya.
- **Heat pump jauh lebih efisien daripada pemanas konvensional** (misalnya, boiler gas) karena panasnya dipindahkan, bukan dihasilkan. *Heat pump* memiliki **efisiensi 200–500%** tergantung dari rentang sumber dan keluaran panas yang diinginkan (hingga ~200 °C).
- *Heat pump* biasanya terdiri dari kompresor, yang menggerakkan pendingin (*refrigerant*), dan penukar panas. Panas yang dihasilkan dari *heat pump* dapat disalurkan melalui **udara super panas (superheated air)**, **air panas**, atau uap, atau untuk memanaskan bahan secara langsung.

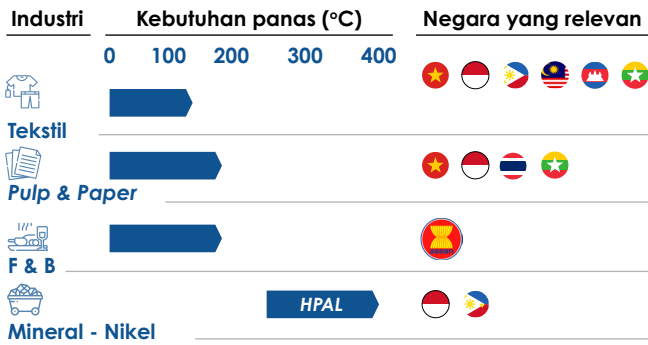
Electric Thermal Energy Storage (ETES)^F



- Penyimpanan energi elektrotermal (**Electric-Thermal Energy Storage/ETES**) adalah **teknologi pemanasan di industri yang relatif baru** yang dapat menyimpan panas hingga 1.800 °C (menggunakan media seperti batuan vulkanik, lelehan garam, dan batu bata tanah liat) dan menghantarkan panas pada suhu 1.500-1.700°C.
- **ETES menggunakan pembangkitan listrik yang bersih, murah, dan intermitten** seperti PLTS dan PLTB karena siklus pemanasannya tidak harus konstan berkat adanya kemampuan penyimpanan termal.
- **Solusi ETES tertentu juga dapat diatur untuk menyediakan kombinasi panas dan listrik secara terus-menerus.** Panas dan listrik bisa menjadi murah ketika PLTS/PLTB tersedia dengan harga yang cukup rendah.

Catatan: [E] Agora Industry, FutureCamp (2022): Power-2-Heat: Gas savings and emissions reduction in industry. [F] Energy Innovation: Policy and Technology LLC (2023): Industrial Thermal Batteries Decarbonizing U.S. Industry While Supporting a High-Renewables Grid (n.d.)

KONTEKS SEKTOR GEOGRAFIS



- Pemanasan di industri berkontribusi terhadap 30% permintaan energi dan ~280 MtCO₂e emisi di ASEAN. Hampir 40-50% pemanasan di industri menggunakan bahan bakar batu bara, dan sebagian menggunakan gas jika tersedia.¹
- Pemanasan sangat penting untuk >11% sektor ekspor ASEAN. Tekstil (5%), pemurnian mineral (5%), pulp & kertas (1%).² Akan ada pembatasan pasar (misalnya CBAM), jadi industri-industri ini harus didekarbonisasi.³
- Elektrifikasi harus dipadukan dengan dekarbonisasi jaringan listrik. Faktor emisi jaringan listrik di ASEAN adalah 0.56-0.8 tCO₂/MWh.⁴ Solusi elektrifikasi langsung juga bisa menggunakan VRE khusus yang berada di dekat lokasi.

STATUS SOLUSI DI ASEAN

Tahapan status solusi: Pengembangan solusi Pasar khusus Pasar massal



Heat pumps (Pompa kalor)

Untuk pemanasan pada temperatur rendah dapat menggunakan *heat pump*, solusi ini berada di **pasar khusus**.

- Penggunaannya di ASEAN masih tergolong baru. Bahkan secara global, adopsi *heat pump* industri belum tersebar luas (98% di gedung-gedung).⁵
- Walaupun efisiensinya sangat tinggi (3-5,5x), ada beberapa kondisi seperti **murahnya bahan bakar petahana dan kurangnya kesadaran akan teknologi** ini yang menghambat adopsinya



Electric-Thermal Energy Storage

ETES berada di penghujung **tahap pengembangan**. Beberapa perusahaan telah menyelesaikan tahap penerapan awal.⁷

Biaya panas yang dirata-ratakan (levelized cost of heat/LCOH) yang kompetitif (\$/MWh-th) dapat dicapai dengan tenaga listrik intermittent yang murah (misalnya, ~6 jam/hari) melalui⁷:

- Koneksi langsung ke PLTS atau PLTB, atau
- Membeli listrik dari pasar listrik grosir (*wholesale electricity market*) yang mengalami penurunan harga harian pada jam-jam di mana produksi listrik PLTS/PLTB sedang tinggi, misalnya, di tempat di mana PLTS/PLTB memiliki penetrasi yang tinggi dalam bauran jaringan listrik, dan terdapat pasar listrik grosir dengan tarif per jam.

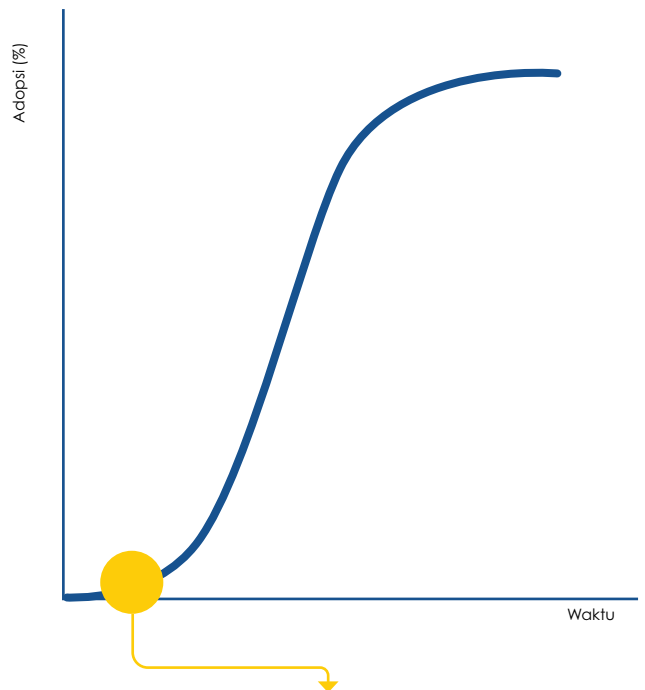
TIPPING POINT DAN STATUS LAJU ADOPSI

Status tipping point

- | | |
|---|--|
| <p> TIPPING POINT PEMANASAN PADA SUHU RENDAH</p> <p>COH Heat Pump < COH Gas</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Memiliki jalur yang lebih dekat dengan tipping point. Namun, hal ini ditentukan oleh kondisi pasar, khususnya biaya energi (misalnya, harga batu bara atau gas vs harga listrik) • Heat pump juga dapat memberikan perlindungan terhadap fluktuasi harga bahan bakar fosil dan keamanan pasokan energi primer. • Kebijakan yang kuat untuk menghentikan insentif penggunaan bahan bakar fosil (misalnya pajak karbon) dapat membantu mempercepat penggunaan <i>heat pump</i>. |
| <p> TIPPING POINT PEMANASAN PADA SUHU SEDANG-TINGGI</p> <p>COH ETES < COH Gas</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Penyediaan panas melalui ETES belum mencapai tipping point karena solusi tersebut masih berada pada tahap awal penerapan secara komersial (misalnya, pasar khusus awal) dan kondisi listrik murah untuk ~6 jam/hari belum tercapai. • Meskipun demikian, ETES bisa mencapai tipping point awal jika terdapat kondisi yang menguntungkan secara ekonomi, misalnya: VRE khusus (<i>off-grid</i>) sebagai pasokan listrik, serta gabungan konfigurasi panas dan tenaga listrik. |

Legenda: Sebagian besar tercapai Tercapai di beberapa kasus Tidak tercapai

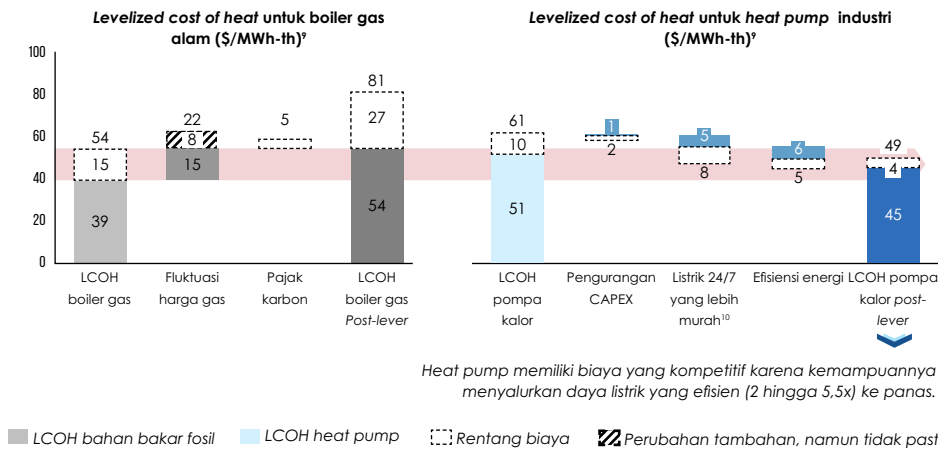
Status adopsi saat ini



Titik infleksi akan **didorong oleh keterjangkauan** (*levelized cost of heat*), **daya tarik** (dorongan untuk produk rendah karbon dari pasar) dan **aksesibilitas** (ketersediaan kemampuan teknologi & rekayasa)

Catatan: [1] ASEAN Centre for Energy (2022), 7th ASEAN Energy Outlook, analisis Systemiq; [2] Trade Map, analisis Systemiq; [3] European Commission (n.d.), Carbon Border Adjustment Mechanism; [5] ADB (2017), *Guidelines for Estimating GHG Emissions of Asian Development Bank Projects*; [6] Rasio harga listrik terhadap gas biasanya digunakan untuk merefleksikan keekonomisan peralihan bahan bakar. Karena pompa kalor adalah teknologi yang sangat efisien, rasio antara 3 hingga 5 cukup untuk membuat pompa kalor bersaing secara ekonomi. Di ASEAN, berkat harga listrik yang relatif murah, ini sudah masuk dalam rentang untuk peralihan (2,5 hingga 5,5) tergantung dari apakah ada batasan harga gas dalam negeri dan tersedianya infrastruktur gas di lokasi. Namun, faktor emisi jaringan listrik juga akan menjadi faktor penentu untuk peralihan. Sumber: analisis Systemiq, BloombergNEF & WBCSD (2021), *Hot Spots for Renewable Heat*. [7] Energy Innovation (2022), *Decarbonizing Low-Temperature Industrial Heat in the U.S.*; [8] Wawancara dengan para ahli dan pelaku industri.

TIPPING POINT UNTUK PEMANASAN DI INDUSTRI PADA SUHU RENDAH



- **Heat pump industri sudah mendekati tipping point**, sebagian karena efisiensi konversi listrik menjadi panas.
- **Permasalahan mengenai rendahnya adopsi lebih pada aksesibilitas**, karena heat pump jenis *air-/ground-sourced heat pump* tidak begitu dikenal di ASEAN dibandingkan dengan yang berbasis panas buangan.
- **Pengarusutamaan teknologi** melalui kolaborasi dengan OEM dan **penghijauan jaringan listrik** akan menjadi kunci untuk lebih mempercepat penggunaan *heat pump*.

KONDISI YANG MEMUNGKINKAN PEMICUAN TIPPING POINT

PROGRESS

KETERJANGKAUAN

- LCOH yang sebanding antara *heat pump* vs boiler gas.
- Penerapan disinsentif untuk penggunaan batu bara dan gas melalui regulasi.
- Regulasi yang mendukung dan kolaborasi antara negara-negara OEM dalam adopsi teknologi baru.
- Pembiayaan berbunga rendah untuk proyek efisiensi energi, khususnya yang terkait dengan elektrifikasi langsung.

- ✓ LCOH dari *heat pump* masih bervariasi tergantung dari kondisi geografis dan harga listrik.
- ✗ Regulasi belum memberikan insentif bagi penggunaan *heat pump* untuk menggantikan panas berbasis bahan bakar fosil.
- ✓ Beberapa pelanggan dari industri utama di ASEAN menyediakan mekanisme pembiayaan untuk memfasilitasi proyek-proyek efisiensi energi.⁸

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- Penyesuaian kebijakan:** Harga listrik yang spesifik untuk pemanasan guna mendukung sumber panas yang menggunakan listrik, atau pajak karbon atas batubara/gas.
- Dukungan finansial:** Hibah, insentif pajak, mekanisme pinjaman, dan akses ke pembiayaan berbiaya rendah.

DAYA TARIK

- **Heat pump mencapai Tingkat Kesiapan Teknologi pada skala komersial** untuk seluruh persyaratan temperatur (hingga 160°C).
- Peluang untuk meningkatkan harga produk yang memiliki intensitas emisi lebih rendah (misalnya, kendaraan listrik dengan emisi produksi rendah dalam rantai pasokan termasuk logam baterai seperti nikel).
- Meningkatnya tekanan untuk menurunkan jejak karbon dari persyaratan pasar mengenai emisi (contohnya, CBAM di UE).⁴
- Tersedianya model bisnis "Heat-as-a-Service" dari pihak ketiga (melalui Perjanjian Pembelian Panas jangka panjang) dapat dipertimbangkan.
- Tuntutan akan peningkatan keselamatan dan kesehatan pekerja di kawasan industri karena pembangkitan panas yang lebih bersih dan menggunakan listrik.

- ✓ Industries are pushing for lower-emissions products in food, textile and critical minerals.
- ✓ EU's CBAM came into effect on 1 October 2023 for initial sectors and will only increase its industry coverage.⁴
- ✓ Mass adoption of industrial heat pumps are limited to low heat, but reaching commercial stage in >130°C heat requirements.⁸
- ✓ Concerns for air quality has been increasing in major cities.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- Penyesuaian kebijakan:** Mendukung penerapan power wheeling untuk mengakses PPA bertarif lebih rendah dari pengembang energi terbarukan.
- Efisiensi energi atau standar emisi:** Mandat untuk meningkatkan standar efisiensi energi industri.
- Advokasi pasar:** Pasar akhir utama yang merupakan pembeli produk-produk dari ASEAN (misalnya merk fesyen yang membeli tekstil) harus mengisyaratkan perlunya produk rendah karbon.

AKSESIBILITAS

- Adanya jaringan listrik yang andal untuk menyalakan *heat pump* secara konsisten.
- Adanya jaringan pemanas di beberapa kawasan industri untuk memungkinkan penerapan model "Heat-as-a-Service."
- Ketersediaan teknologi (OEM) dan layanan (EPC) untuk memasang sistem pompa kalor yang disesuaikan, yang dapat diintegrasikan/di-retrofit dengan sistem pemanas yang ada.
- Entitas kawasan industri memainkan peran yang mendukung dalam elektrifikasi panas.

- ✓ Keandalan listrik dapat diterima. Selain di negara-negara yang keandalan listriknya dipertanyakan (misalnya, Kamboja, Laos), listrik yang ada cukup andal.
- ✗ Pengenalan teknologi dari OEM tidak secepat industri Eropa atau Amerika Serikat.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

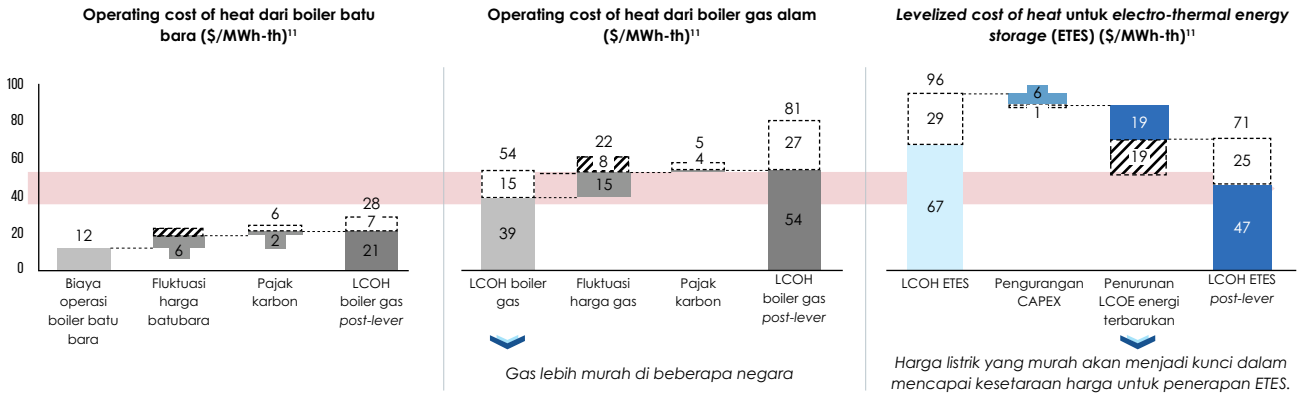
- Meningkatkan keandalan jaringan listrik:** Untuk meningkatkan aksesibilitas *heat pump*, bahkan di lokasi industri terpencil.
- Mempercepat pengenalan teknologi:** OEM yang tertarik hendaknya diajak untuk memperkenalkan teknologi di ASEAN.
- Mandat elektrifikasi kawasan industri:** Meningkatkan pemanfaatan elektrifikasi melalui entitas pengelola kawasan industri.

Legenda: ✓ Progres berjalan dengan baik ✓ Progres beragam ✗ Progres tidak terjadi (atau terjadi sangat lambat)

Catatan: Pedoman pemeringkatan kondisi pendukung *tipping point*: Keterjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga tercapai, Kuning tua – Kesetaraan harga dapat tercapai dengan bantuan lever sebelum 2030, Merah – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi *tipping point*, Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point*, namun kemajuan pesat sedang terjadi. Merah – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point* dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas.

[8] Wawancara dengan ahli dan pelaku industri; [10] *Levelized cost of heat (LCOH) dari boiler gas dan heat pump* dihitung menggunakan kalkulator biaya transformasi *Power-2-Heat* yang dikembangkan oleh Agora Industry, FutureCamp, dan Wuppertal Institute, dapat diakses di: <https://www.agora-energiwende.de/en/publications/transformationkostenrechner-power-2-heat/>. Agora Industry, FutureCamp (2022): *Power-2-Heat: Gas savings and emissions reduction in industry; and Energy Innovation* (2022). Dekarbonisasi Panas Industri Suhu Rendah di A.S. digunakan sebagai referensi utama untuk asumsi biaya dan kinerja utama; [10] Pompa kalor memerlukan listrik 24/7, dan energi terbarukan on-site tidak dapat menyediakannya dengan harga yang wajar.

TIPPING POINT UNTUK PEMANASAN DI INDUSTRI PADA SUHU SEDANG HINGGA TINGGI



- Teknologi ETES masih berada pada tahap awal komersialisasi.
- Ke depannya, pengurangan biaya pemanasan lebih lanjut untuk ETES akan terjadi melalui penurunan biaya listrik (selama ~6 jam per hari), yaitu dari PLTS/PLTB di lokasi atau yang disalurkan melalui jaringan listrik melalui PPA dan power wheeling.

■ LCOH bahan bakar fosil ■ LCOH ETES □ Rentang biaya ▨ Perubahan tambahan, namun tidak pasti ■ Rentang tipping point

KONDISI YANG MEMUNGKINKAN PEMICUAN TIPPING POINT

PROGRESS

KETERJANGKAUAN

- LCOH yang sebanding antara *Electric Thermal Energy Storage (ETES)* vs *Boiler Gas*.
- Biaya tenaga surya lokal/regional yang berkurang (misalnya, melalui kebijakan yang mendukung dan skala ekonomi) untuk menyediakan pasokan listrik baik *off-grid* dengan swasta ataupun melalui PPA dengan *power wheeling*. Dikombinasikan dengan perizinan yang disederhanakan untuk membangun pembangkit listrik terdedikasi di lokasi (*on-site*) maupun dekat lokasi (*near site*).
- Peraturan dan insentif yang mendukung adopsi teknologi baru, misalnya subsidi CapEx, kontrak untuk selisih harga panas. Dikombinasikan dengan disinsentif untuk penggunaan batu bara dan gas untuk produksi panas.

DAYA TARIK

- Peraturan dan insentif yang mendukung adopsi teknologi baru, khususnya pada kemampuan gabungan panas dan listrik bersih (*clean heat and power (CHP) capability*).
- Permintaan dan premi hijau untuk produk-produk dengan intensitas emisi yang lebih rendah.
- Meningkatnya tekanan untuk menurunkan jejak karbon dari persyaratan pasar mengenai emisi (contohnya, CBAM di UE).⁴
- Tuntutan akan kualitas udara dan kesehatan pekerja di kawasan industri karena pembangkitan panas yang lebih bersih.

AKSESIBILITAS

- Ketersediaan teknologi (OEM) dan layanan (EPC) untuk memasang solusi ETES.
- Menyederhanakan perizinan untuk membangun pembangkit listrik *VRE captive* di dekat kawasan industri.

- ✓ LCOH dari pembangkitan panas yang menggunakan listrik sangat berbeda di antara negara-negara ASEAN, karena adanya perbedaan harga listrik dari energi terbarukan yang didedikasikan secara khusus (misalnya PLTS).
- ✓ Kurva pembelajaran historis telah menyebabkan penurunan LCOE PLTS secara signifikan dalam dekade terakhir dan akan semakin menurun karena didorong oleh penurunan biaya teknologi global dan kebijakan pendukung apa pun yang diberlakukan secara lokal/regional (misalnya, penurunan tarif impor).
- ✗ Regulasi dan subsidi yang spesifik belum tersedia karena ETES adalah teknologi baru.
- ✓ Pengembangan pembangkit listrik *captive* lebih tidak birokratis jika dibandingkan dengan pengembangan proyek tenaga listrik *on-grid* di Negara-Negara ASEAN.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- Penyesuaian kebijakan: Subsidi CapEx, hibah, insentif pajak dan fiskal, serta kebijakan untuk memungkinkan penerapan *off-grid* atau *power wheeling* guna mendukung PPA dengan biaya rendah.
- Proyek percontohan komersial di negara-negara ASEAN.

✗ Regulasi dan subsidi yang spesifik belum tersedia karena teknologi ETES masih dikembangkan.

- ✓ Industri mendorong produk-produk dengan emisi yang lebih rendah dalam makanan, tekstil, dan mineral kritis.⁸
- ✓ Kekhawatiran mengenai kualitas udara telah meningkat di kota-kota besar.
- ✓ CBAM Uni Eropa akan berlaku pada akhir tahun 2023 untuk sektor-sektor awal dan hanya akan meningkatkan cakupan industrinya ke sektor-sektor lain.⁴

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- Penyesuaian kebijakan: Peraturan mengenai pengurangan polusi udara akan mendorong industri untuk menggunakan alternatif yang lebih bersih untuk menggantikan batu bara dan gas alam.

✓ Solusi ETES masih berada pada tahap penerapan awal dan akan membutuhkan waktu beberapa tahun sebelum diterapkan secara luas di industri.

✓ Pengembangan pembangkit listrik *captive* sudah tidak terlalu birokratis.

Aksi kunci untuk mempercepat progress:

- Penyesuaian kebijakan: Menyederhanakan proses perizinan untuk pembangkit listrik *captive* yang diperuntukkan untuk panas industri yang terelektifikasi, termasuk mengizinkan pembangkit *captive* untuk menghubungkan jalur pribadi pembangkitan ke lokasi industri yang berdekatan (misalnya, <20 kms).

Legenda: ✓ Progres berjalan dengan baik ✓ Progres beragam ✗ Progres tidak terjadi (atau terjadi sangat lambat)

Catatan: Pedoman pemeringkatan kondisi pendukung *tipping point*: Keterjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga tercapai, Kuning tua – Kesetaraan harga dapat tercapai dengan bantuan lever sebelum 2030, Merah – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi *tipping point*, Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point*, namun kemajuan pesat sedang terjadi, Merah – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point* dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas. [11] LCOH boiler gas dan electro-thermal energy storage (ETES) dihitung menggunakan kalkulator biaya transformasi Power-2-Heat yang dikembangkan oleh Agora Industry, FutureCamp, dan Wuppertal Institute, diakses dari: <https://www.agora-energiwende.de/en/publications/transformatiionskostenrechner-power-2-heat/>. Untuk ETES, fungsi boiler listrik digunakan dan disesuaikan. Agora Industry, FutureCamp (2022): Power-2-Heat: Gas savings and emissions reduction in industry; and Energy Innovation (2023). Baterai Termal Industri digunakan sebagai referensi utama untuk asumsi biaya dan kinerja utama.





AMONIA HIJAU UNTUK BAHAN BAKAR PELAYARAN

KONTEKS SEKTOR GLOBAL



- ~90% dari perdagangan global dilakukan melalui pelayaran, sebagian besar dengan kapal jarak jauh. Jenis kapal ini bertanggungjawab atas ~85% emisi.^A
- Dekarbonisasi sektor pelayaran dapat dilakukan melalui sumber energi alternatif untuk melengkapi efisiensi operasional dan energi.
- Lokasi pelabuhan menentukan pentingnya dan pengaruhnya dalam industri pelayaran, termasuk untuk upaya dekarbonisasi. 30 pelabuhan terbesar di dunia bertanggung jawab atas 60% perdagangan peti kemas global.^B
- Solusi terdepan untuk bahan bakar bersih adalah amonia dan metanol hijau, mengingat adanya batasan kerapatan energi untuk mesin listrik atau bahan bakar hidrogen, serta keterbatasan ketersediaan biomassa berkelanjutan. Amonia hijau adalah solusi yang menjadi fokus analisis ini, karena tantangan dalam memperoleh CO₂ berkelanjutan secara hemat biaya untuk metanol hijau.

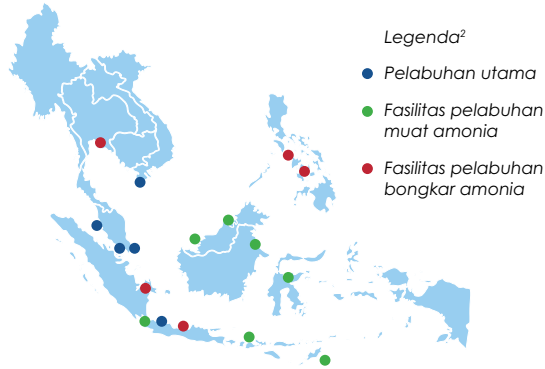
Rute pelayaran global jarak jauh penting^C

Vessel type	Goods	Route	Volume (m tonnes, 2019)
 Container-ships	Diversified-mainline	Transpacific mainline	202
		Asia-Europe mainline	235
		Transatlantic mainline	58
 Dry bulk	Diversified - non-mainline	Non-mainline East-West	193
		North-South	89
		South-South	144
		Intra-regional	405
		Iron ore	689
		Australia-China	689
		Brazil-China	212
		Australia-Japan	62
		Australia-South Korea	53
		Brazil-Malaysia	29
Soyabeans	Guinea-China	38	
	Australia-China	31	
Manganese	South Africa-China	11	
Nickel ore	Philippines-China	25	
	Indonesia-China	18	

ASEAN berada di persimpangan antara rute pelayaran besar/sangat besar yang menyumbang setidaknya 10% dari volume pelayaran global. Hal ini berarti ASEAN memiliki posisi strategis untuk mempengaruhi upaya dekarbonisasi pelayaran global.

Catatan: [A] Systemiq (2023), The Breakthrough Effect: How to Trigger a Cascade of Tipping Points to Accelerate the Net Zero Transition; World Shipping Council (n.d.); IRENA (2022), A Pathway to Decarbonise the Shipping Sector by 2050; B) Global Maritime Forum (2023) Fuelling the decarbonisation of iron ore shipping between Western Australia and East Asia with clean ammonia; C) Getting to Zero Coalition (2021), The Next Wave Green Corridors.

KONTEKS SEKTOR GEOGRAFIS



- Asia Tenggara memiliki 5 dari 30 pelabuhan teratas dalam hal keseluruhan aktivitas bongkar-muat di pelabuhan (*throughput*) (Singapura, Klang, Tanjung Pelepas, Tanjung Priok, dan Ho Chi Minh memiliki >5 juta TEU (*twenty-foot equivalent unit*) *throughput* tahunan).²
- Singapura memiliki 20+% pangsa permintaan *bunkering* global,³ membuat strategi *bunkering*-nya penting bagi pelayaran global.
- ASEAN sebagai penerima manfaat dari koridor hijau.⁴ Koridor maritim hijau kemungkinan besar akan berperan sebagai pendorong fase pasar khusus dalam penggunaan amonia hijau sebagai bahan bakar pelayaran, dan ASEAN berada di tengah-tengah beberapa koridor (misalnya, koridor Australia-Asia Timur, koridor Kontainer Antarbenua).
- ASEAN sudah memiliki infrastruktur amonia sebagai dasar. Saat ini terdapat 12 pelabuhan bongkar/muat amonia di ASEAN, walaupun masih banyak pengembangan yang harus dilakukan untuk mencapai kemampuan *bunkering*, termasuk pengadaan kapal.

STATUS SOLUSI GLOBAL

Tahapan status solusi: ● Pengembangan solusi ➤ Pasar khusus ➤ Pasar massal



Amonia hijau sebagai solusi bahan bakar pelayaran masih dalam tahap pengembangan lebih lanjut.

- Penggunaan amonia hijau untuk pelayaran memerlukan pemenuhan empat aspek berikut:
 - 1) **Infrastruktur untuk *bunkering***: Perlu adanya keamanan penanganan amonia dan analisis dampak. Masih dalam tahap pengembangan.⁵
 - 2) **Produksi amonia hijau**: Proyek-proyek amonia hijau sedang berjalan, namun masih dalam skala percontohan. Di pasar khusus (*niche market*).⁵
 - 3) **Pengembangan mesin kapal**: Saat ini belum ada kapal bermesin amonia yang digunakan. Masih dalam tahap pengembangan.⁵
 - 4) **Keamanan penanganan**: Diperlukan untuk memasuki pasar massal. Pelabuhan utama (seperti Singapura) telah melakukan beberapa studi. Masih dalam tahap pengembangan.⁵
- Pengembangan teknologi mengalami kemajuan pesat. Hingga Q1 2022, 30% dari proyek kapal baru dan 25% dari proyek *bunkering* & infrastruktur global adalah untuk amonia.⁶



Hanya hidrogen/amonia hijau yang termurah (+ pajak karbon atau subsidi yang setara) yang akan mencapai kesetaraan biaya dengan HFO, dan proyeksi biaya produksi di ASEAN tidak mencapai hal tersebut. Ditambah lagi dengan fakta bahwa 90% dari kapal global dibuat di Asia Timur,⁷ diperkirakan bahwa kontribusi ASEAN untuk amonia hijau sebagai bahan bakar pelayaran lebih terkait ke *bunkering*, bukan produksi.

TIPPING POINT DAN STATUS LAJU ADOPSI

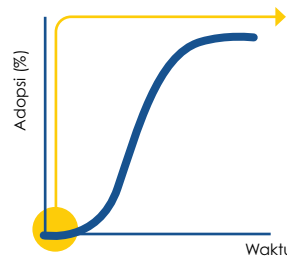
Status tipping point

Legenda: ✓ Sebagian besar tercapai ○ Tercapai di beberapa kasus - Tidak tercapai

TIPPING POINT 1
Harga amonia hijau (\$/ton) vs BBM berat

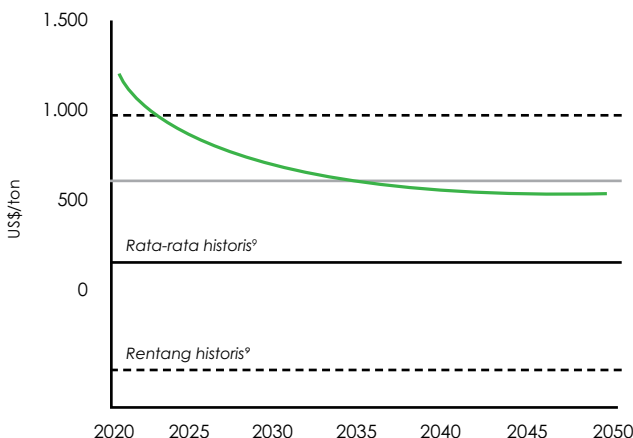
- **Tipping point akan berfokus pada harga amonia hijau vs harga bahan bakar yang ada saat ini, yaitu Bahan Bakar Minyak berat (*Heavy Fuel Oil/HFO*).**
- Karena solusi ini masih pada tahap pengembangan, **tipping point belum tercapai.**

Status adopsi saat ini



Pemanfaatan amonia hijau sebagai bahan bakar pelayaran masih dalam tahap awal. Pengembangan lebih lanjut dan sinkronisasi setiap aspek (infrastruktur, mesin kapal, produksi bahan bakar) diperlukan untuk percepatan adopsi.

TIPPING POINT UNTUK PELAYARAN GLOBAL



Kesetaraan biaya: membutuhkan harga hidrogen hijau sebesar \$1.6/kg + harga karbon \$100/ton atau subsidi yang setara.⁸ Subsidi pemerintah seperti IRA (*Inflation Reduction Act* di Amerika Serikat) dapat semakin mempercepat titik kritis ini.

HFO + Subsidi yang Setara

Amonia Hijau (Setara HFO)⁹

Heavy Fuel Oil (HFO)¹⁰

Meskipun kesetaraan biaya bahan bakar memerlukan waktu dan dukungan dari pemerintah, **TCO kapal berbahan bakar amonia dapat bersaing untuk beberapa rute dengan bantuan subsidi** (misalnya, IRA), berdasarkan studi yang dilakukan oleh *Global Maritime Forum*.

Catatan: [1] IRENA (2022). A Pathway to Decarbonise the shipping sector by 2050 [2] World Shipping Council (n.d.). The Top 50 Container Ports; [3] SeaTrade Maritime, Minerva (n.d.); [4] Global Maritime Forum (2021). The Next Wave: Green Corridors; [5] Analysis Systemiq; [6] Getting to Zero Coalition (2022) Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects; [7] United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) (2022). Data kapal yang dibuat berdasarkan negara; [8] Systemiq (2023). The Breakthrough Effect: How to Trigger a Cascade of Tipping Points to Accelerate the Net Zero Transition; [9] Making Mission Possible (2022). Making 1.5-Aligned Ammonia Possible; [10] INSEE Data (n.d).

KETERJANGKAUAN	DAYA TARIK	AKSESIBILITAS
<ul style="list-style-type: none"> • Kesetaraan biaya untuk amonia hijau sebagai bahan bakar pelayaran vs. HFO, dengan bantuan subsidi. Tantangan kesetaraan biaya ini sebagian besar karena 2 ton NH₃ setara dengan 1 ton HFO dalam hal volume energi. • Pengembangan koridor hijau utama yang melewati wilayah ASEAN (misalnya jalur utama Asia-Eropa). 	<ul style="list-style-type: none"> • Insentif pasar dan dorongan pasar untuk menyediakan pelayaran rendah karbon. Ketika perusahaan-perusahaan yang menggunakan jalur pelayaran bertujuan untuk mengurangi emisi Lingkup 3, maka dekarbonisasi dalam pelayaran akan segera terjadi. • Keamanan & regulasi internasional yang diperbarui untuk mengatasi masalah penanganan dan keamanan seputar ammonia. • Dampak bersih amonia yang terbukti positif. Kekhawatiran mengenai dampak penggunaan amonia terhadap siklus nitrogen alami perlu diatasi. • Penegakan pelayaran rendah karbon, baik melalui pelabuhan maupun peraturan karbon regional atau negara. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tersedia beberapa pelabuhan besar dengan infrastruktur bunkering, terfokus pada <i>hub</i> utama dan sekunder di ASEAN (misalnya Pelabuhan Singapura, Vietnam, Indonesia). • Galangan kapal mengembangkan kapasitas untuk membangun atau melakukan retrofit kapal agar dapat beroperasi dengan aman dan efisien menggunakan amonia. • Keamanan & peraturan internasional yang diperbarui untuk mengatasi masalah penanganan dan keamanan eputar amonia.
<ul style="list-style-type: none"> ✗ Biaya kepemilikan total dari kapal berbahan bakar amonia hijau diperkirakan akan ~70% lebih tinggi daripada HFO pada tahun 2030,¹¹ namun beberapa rute dapat mencapai biaya yang bersaing, seperti yang dipaparkan oleh studi GMF terbaru. ✗ Kesetaraan harga bisa terjadi pada tahun 2035 ketika harga hidrogen hijau turun (~\$1,6/kg), namun hanya di lokasi yang menguntungkan dan ditambah dengan harga CO₂/subsidi yang sebanding sebesar ~\$100/tCO₂.¹ <i>Emissions trading system</i> Uni Eropa (ETS UE) akan mengenakan pajak sebesar 50% dari emisi untuk kapal yang berlabuh di pelabuhan-pelabuhan Uni Eropa.¹² ✗ Tidak ada indikasi dari pemerintah ASEAN untuk memberikan subsidi untuk pengembangan koridor hijau. <p>Aksi kunci untuk mempercepat progress:</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Penyesuaian kebijakan: Pajak karbon untuk penggunaan HFO dalam pelayaran. ☐ Pengembangan ammonia hijau. Insentif untuk pengembangan koridor hijau, termasuk bunkering ammonia dan investasi teknologi lainnya. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IMO mulai melaksanakan upaya dekarbonisasinya melalui program <i>Carbon Intensity Indicator</i>.¹² ✓ Perusahaan-perusahaan mulai meminta perusahaan pelayaran untuk memberikan laporan emisi karbon kapal sebagai bagian dari pemilihan vendor.¹² ✓ Beberapa pelabuhan internasional telah meningkatkan persyaratan standar polusi bagi kapal untuk berlabuh, dan ETS UE akan mengenakan pajak sebesar 50% dari emisi untuk kapal yang berlabuh di pelabuhan-pelabuhan Eropa.¹² ✓ Beberapa koalisi telah dibangun, misalnya, <i>Cargo Owners for Zero Emissions Vessels (COZEV)</i> atau <i>Zero-Emissions Maritime Buyers Alliance (ZEMBA)</i>. <p>Aksi kunci untuk mempercepat progress:</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Penyesuaian kebijakan dan regulasi. Regulasi yang lebih ketat di pelabuhan terkait polusi dan emisi. ☐ Insentif pasar. Premi hijau untuk kapal yang menggunakan bahan bakar rendah karbon atau bahan bakar alternatif. ☐ Memfasilitasi koalisi pasar untuk pelayaran hijau. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rencana dan studi telah dilakukan untuk terminal impor/bunkering di pelabuhan-pelabuhan utama (Rotterdam, Hamburg, dan Singapura).¹³ ✗ Antrian untuk galangan kapal masih menjadi kendala utama karena terlalu banyaknya permintaan. ✓ Model pertama diharapkan tersedia pada tahun 2026 (contohnya, Pelayaran Pasifik Timur telah memesan kapal amonia).⁷ ✗ Peraturan keselamatan dan pelatihan ulang tenaga kerja untuk penanganan amonia belum dikeluarkan atau dimulai. <p>Aksi kunci untuk mempercepat progress:</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Meningkatkan kemampuan bunkering. ☐ Mempercepat kemampuan manufaktur kapal berbahan bakar ammonia hijau. ☐ Memasukkan penggunaan ammonia dalam standar dan peraturan keselamatan global.

Legenda: ✓ Progres berjalan dengan baik ✓ Progres beragam ✗ Progres tidak terjadi (atau terjadi sangat lambat)

Catatan: Pedoman pemeringkatan kondisi pendukung *tipping point*: Keterjangkauan: Hijau – Kesetaraan harga tercapai, Kuning tua – Kesetaraan harga dapat tercapai dengan bantuan lever sebelum 2030, Merah – Kesetaraan harga mungkin hanya bisa tercapai setelah 2030. Daya tarik & Aksesibilitas: Hijau – Tidak ada hambatan bagi *tipping point*, Kuning tua – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point*, namun kemajuan pesat sedang terjadi, Merah – Saat ini ada hambatan bagi *tipping point* dan kemajuannya hingga saat ini masih terbatas. [11] Maersk- McKinney Moller Center for Zero Carbon Shipping (Oktober 2021), Industry Transition Strategy; [12] Wawancara dengan ahli dan pelaku industri; [13] Ammonia Energy Association (Agustus 2022).

FOKUS ASEAN UNTUK AMONIA HIJAU

- **Meningkatkan infrastruktur bunkering untuk menyediakan juga bahan bakar rendah karbon.** Posisi geografis strategis yang selaras dengan rute pelayaran utama yang ada dan peningkatan kemampuan untuk menyediakan aktivitas bunkering di Singapura atau Indonesia.
- **Membangun kemampuan pembuatan kapal untuk mesin kapal pelayaran rendah karbon.** Khususnya Vietnam, karena ada kelebihan permintaan di galangan kapal Jepang dan Korea.
- **Membangun hubungan yang strategis dengan negara/sektor swasta yang memiliki produksi hidrogen/amonia hijau yang rendah.** Perjanjian strategis dengan sektor swasta penggerak pertama (*first mover*) yang dapat menyediakan produsen amonia berbiaya rendah, seperti Australia.

Untuk menyatukan tiga fokus peluang tersebut, negara-negara ASEAN harus mempertimbangkan pengembangan kawasan industri hijau (misalnya, untuk nikel di Filipina dan Indonesia) untuk memicu koridor hijau strategis berskala besar yang baru ke Cina atau kawasan manufaktur baterai lainnya, di mana koridor hijau ini juga harus mengintegrasikan dekarbonisasi pelayaran ke dalam perencanaannya. Dengan meningkatnya minat terhadap rantai nilai baterai rendah karbon, hal ini merupakan pendekatan strategis yang perlu diujicoba bersama-sama oleh pemerintah di seluruh ASEAN.



TIPPING CASCADES DAN SUPER LEVERAGE POINT

“The Breakthrough Effect in ASEAN mengidentifikasi 2 super-leverage point untuk membantu memicu serangkaian tipping point di 8 sektor yang mewakili 50% emisi ASEAN.”

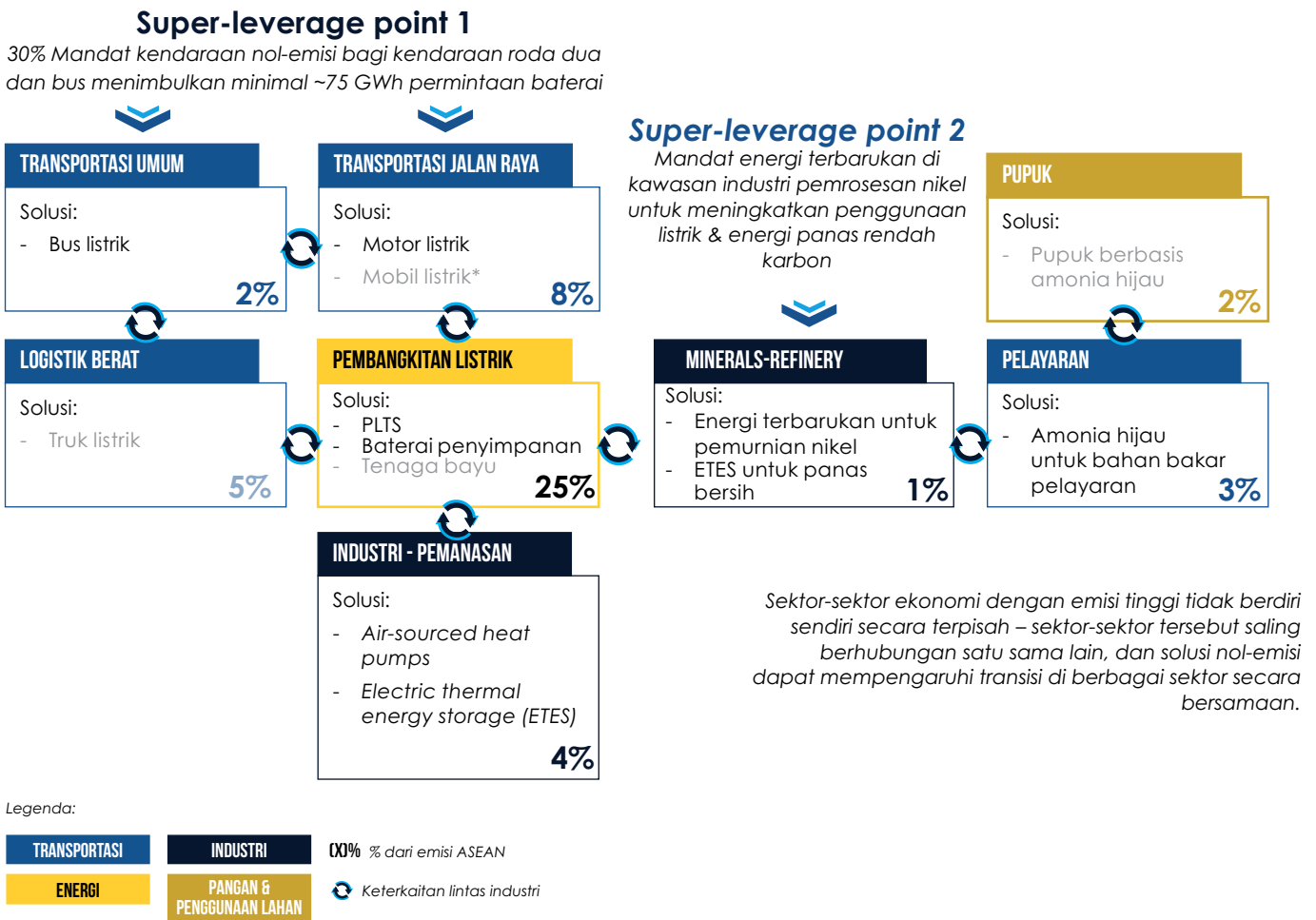
Banyak solusi rendah karbon yang dapat mendukung transisi di berbagai sektor. Sebagai contoh, energi terbarukan berbiaya rendah yang dikombinasikan dengan penyimpanan baterai yang lebih murah dan berdurasi lebih lama kini menjadikan elektrifikasi langsung lebih layak untuk dilakukan di berbagai sektor perekonomian (misalnya, transportasi jalan raya, pemanasan di industri). Secara global, kemajuan dalam pengembangan baterai *lithium-ion* yang ringkas, awet, dan tahan lama sedang terlihat. Baterai ini, yang didorong oleh permintaan kendaraan listrik (EV), juga memberikan manfaat bagi sektor ketenagalistrikan dengan memungkinkan adopsi energi terbarukan dalam skala yang lebih besar. Kemajuan ini terus mendorong batas-batas transisi energi. Pada tahun 2021, perkiraan skala investasi untuk melakukan dekarbonisasi 70% emisi global adalah 40% lebih rendah dibandingkan dua tahun sebelumnya (\$3,2 triliun per tahun vs. \$5,3 triliun per tahun pada tahun 2019), berkat teknologi yang mempermudah pengurangan emisi di sektor-sektor yang dulunya dianggap sulit untuk didekarbonisasi.³³

Keterkaitan ini dapat menyebabkan terjadinya *tipping cascades*, di mana mencapai *tipping point* di satu sektor akan mempercepat kemajuan di sektor lain. Misalnya, meningkatnya adopsi kendaraan listrik mendorong penggunaan—dan oleh karenanya penurunan biaya dari—baterai. Hal ini menguntungkan sektor ketenagalistrikan karena penyimpanan listrik berbiaya rendah akan membantu memperluas pembangkitan listrik terbarukan yang bersifat *intermittent* (tidak konstan/tidak teratur) dari tenaga bayu & surya.

Gambar 8 di bawah ini menyoroati beberapa interaksi utama antarsektor dan solusi rendah karbonnya.

³³ Goldman Sachs (2021), *The Dual Action of Capital Markets Transforms the Net-Zero Cost Curve*.

Gambar 8. Super-leverage point di sektor-sektor prioritas ASEAN



Catatan: Teknologi yang diberi warna abu-abu tidak dikaji dalam analisis di studi ini.

Leverage points

Dalam sistem yang dinamis, sebab dan akibat bisa menjadi tidak proporsional dan upaya yang dilakukan dengan banyak biaya kadang-kadang hanya menghasilkan sedikit atau bahkan tidak ada pengaruhnya. *Leverage point* (titik pengungkitan/pengaruh) adalah suatu titik di mana intervensi kecil yang dilakukan dapat menghasilkan dampak besar.³⁴

Dalam konteks transisi rendah karbon, *leverage point* dapat dilihat sebagai kebijakan atau aksi yang memiliki biaya atau kesulitan yang relatif dapat dikelola dan menghasilkan dampak yang relatif besar terhadap pengembangan atau penerapan solusi nol-emisi. Di sektor penghasil emisi mana pun, diperlukan banyak kebijakan pendukung untuk mendukung transisi. Meskipun demikian, pada saat tertentu, mungkin ada satu kebijakan yang menonjol karena tingkat pengaruhnya yang tidak biasa.

Sebagai contoh, dalam fase transisi sektor ketenagalistrikan ASEAN saat ini, *feed-in tariffs* (FIT)—idealnya dengan harga yang ditentukan melalui lelang untuk mendorong penurunan biaya—bisa sangat berguna untuk meningkatkan penggunaan awal VRE. Banyak negara telah menunjukkan bahwa rangkaian lelang yang berkelanjutan dapat menurunkan harga lokal dengan cepat. Contohnya, program lelang energi terbarukan di Afrika Selatan telah menunjukkan penurunan harga PLTS yang cepat dan masif sebesar sekitar 83% antara tahun 2011-2014 melalui empat jendela penawarannya.³⁵

Selain itu, cara cerdas untuk terus mengintegrasikan energi terbarukan adalah dengan mempertimbangkan penggunaan metode pengadaan yang ditingkatkan seperti lelang dengan subsidi lahan atau lelang terbalik setelah fase awal FIT.

³⁴ D. Meadows (1997), "Leverage Points: Places to Intervene in a System," Whole Earth.
³⁵ Meridian Economics (2020), A Vital Ambition: Addressing South Africa's electricity crisis and getting ready for the next decade.

Super-leverage points

Potensi terjadinya tipping cascades antar sektor menunjukkan adanya apa yang disebut sebagai "super-leverage point"—peluang untuk melakukan tindakan yang biaya atau kesulitannya relatif dapat dikelola, dan peluang yang relatif tinggi untuk memicu tipping point pada suatu sektor, di mana tipping point tersebut kemudian dapat membantu memicu tipping point di sektor lain, sehingga disebut tipping cascades. Di sini kami mendefinisikan super-leverage point sebagai titik yang memiliki sifat-sifat berikut:

1. Menjadi aksi dengan pengaruh tertinggi dalam sektor mereka sendiri, berdasarkan pada hasil menggabungkan antara biaya atau kesulitan yang dapat dikelola dengan dampak besar pada pengembangan atau penerapan solusi nol-emisi;
2. Sektor yang terdampak memiliki pengaruh terhadap setidaknya satu sektor penghasil emisi utama lainnya yang: a) arahnya positif, yaitu mendukung transisi; b) dampaknya besar; c) kemungkinannya cukup tinggi; d) membuat solusi di sektor yang terdampak lebih mudah diterapkan/memberikan potensi keberhasilan yang lebih tinggi.

Meskipun transisi perekonomian menuju emisi nol bersih memerlukan intervensi yang tak terhitung jumlahnya, akan bermanfaat jika kita mengidentifikasi dan berfokus pada super-leverage point untuk meningkatkan peluang terjadinya kemajuan yang pesat.

Aksi yang dilakukan oleh satu negara saja di kawasan ASEAN, betapapun tepat sarasannya, kemungkinan besar tidak akan mampu mengkatalisis terjadinya tipping cascades di kawasan. Namun jika negara-negara ASEAN bertindak bersama dan bersama-sama memfokuskan upaya pada super-leverage point, mereka mungkin dapat mencapai hal tersebut. Hal ini akan sangat penting bagi perekonomian global, karena ASEAN telah menyumbang ~3,4 persen PDB global dan memberikan kontribusi sebesar 10 persen terhadap pertumbuhan ekonomi global.^{36,37} Perekonomian terbesar kelima di dunia ini akan mengambil peran yang lebih besar dalam pasar global dan transisi ekonomi hijau, yang berarti bahwa keberhasilan dalam melewati tipping point di kawasan ini akan berdampak besar pada skala internasional.

DI SINI KAMI MENGUSULKAN 2 KANDIDAT SUPER-LEVERAGE POINT YANG BERPOTENSI MEMPERCEPAT TERJADINYA TIPPING CASCADES DI 8 SEKTOR YANG MEWAKILI 50% EMISI ASEAN:

Super-leverage point 1: Mandat kendaraan nol emisi bagi kendaraan bermotor roda dua dan bus

Dalam transisi transportasi jalan raya, terdapat bukti bahwa mandat kendaraan nol-emisi (zero-emission vehicle/ZEV) merupakan leverage point yang kuat. Dengan mewajibkan produsen untuk memastikan bahwa ZEV berkontribusi terhadap peningkatan proporsi penjualan mobil mereka dalam jangka pendek hingga menengah, mereka mengatasi kendala pasokan, mendorong produsen untuk menstimulasi pasar dengan pemasaran dan produk yang sesuai untuk pasar, dan pada akhirnya mencapai peningkatan volume produksi—sehingga menyebabkan penurunan biaya dan peningkatan permintaan.

Berbagai versi dari kebijakan ini telah terbukti sangat efektif di California, Cina, serta Provinsi Quebec dan British Columbia di Kanada.³⁸ Mandat ZEV tidak memerlukan pengeluaran dari pihak pemerintah, namun bergantung pada realokasi modal industri untuk mendorong investasi dan inovasi dalam solusi baru. Mandat ZEV saja tidak cukup—investasi untuk infrastruktur pengisian daya dan banyak kebijakan lainnya merupakan hal yang penting juga—namun mandat ini memiliki pengaruh yang sangat besar untuk mempercepat transisi ke kendaraan listrik dalam transportasi jalan raya ringan.

Hal ini dapat membantu mempercepat transisi rendah karbon secara signifikan di setidaknya dua sektor lainnya:

1. **Ketenagalistrikan:** Permintaan baterai yang cukup besar bisa berasal dari banyaknya volume kendaraan roda dua dan tingginya permintaan baterai per bus. Menerapkan mandat 30% ZEV pada kendaraan roda dua dan bus baru dapat menimbulkan permintaan akan baterai minimal sebesar ~75 GWh. Berdasarkan proyeksi rencana investasi manufaktur baterai yang ada, pencapaian mandat ini akan menciptakan kondisi di mana permintaan baterai melebihi kapasitas produksi—sehingga akan mendorong investasi tambahan pada industri tersebut dan menurunkan biaya baterai dari waktu ke waktu. Baterai yang lebih murah pada akhirnya akan membantu sektor ketenagalistrikan untuk melakukan dekarbonisasi dengan menurunkan biaya solusi PLTS/PLTB + baterai penyimpanannya.
2. **Transportasi darat angkutan berat – mobil dan truk:** Baterai yang lebih murah dan berkinerja lebih baik yang dicapai melalui peningkatan kendaraan roda dua dan bus listrik juga akan meningkatkan daya saing mobil dan truk listrik bertenaga baterai, sehingga mampu mengalahkan mobil dan truk berbahan bakar bensin atau diesel. Kemungkinan besar akan ada juga kemajuan dalam teknologi electric drivetrain yang dapat dialihkan dari bus ke truk, ditambah lagi dengan adanya peningkatan kecepatan pembelajaran untuk teknologi pengisian daya ultra-cepat yang merupakan

³⁶ K. Georgieva (2023). ASEAN Matters: Cooperation for A Stronger and More Resilient Global Economy.

³⁷ S&P Global (2022). The ascent of APAC in the global economy.

³⁸ ICCT (2019). Overview of Global Zero-Emission Vehicle Mandate Programs.

kunci untuk angkutan jalan raya berat dengan rute tidak tetap.

Sama halnya dengan *tipping cascades*, kepercayaan terhadap keberadaan dan efektivitas *super-leverage point* bervariasi antar sektor. Adanya bukti mengenai mandat ZEV yang efektif dalam mengedepankan *tipping point* kendaraan listrik yang disebutkan di atas, yang dikombinasikan dengan pentingnya biaya baterai dalam mengedepankan *tipping point* ketenagalistrikan dan transportasi jalan raya, menunjukkan adanya kepercayaan yang tinggi terhadap *super-leverage point* ini. Namun, perlu dicatat bahwa hal ini mungkin tidak mudah untuk direplikasi di ASEAN karena beragamnya kebijakan dan konteks pasar. Misalnya, usia armada bus yang ada saat ini yang relatif muda membuat penerapan mandat ZEV untuk bus di kawasan ini menjadi lebih sulit. Oleh karena itu, keterlibatan pemangku kepentingan yang berkelanjutan dari semua sektor (pemerintah, swasta, dan sektor ketiga) akan diperlukan untuk memungkinkan implementasi yang efektif.

Super-leverage point 2: Mandat energi terbarukan di kawasan industri pengolahan nikel untuk meningkatkan penggunaannya dalam tenaga listrik dan pemanasan rendah karbon

Super-leverage point kedua adalah mandat energi berbasis VRE dalam pemurnian mineral kritis (*critical minerals*). Mengintervensi sektor ini diperkirakan akan menambah 1,7 hingga 2,8 GW permintaan VRE, sebuah volume yang memungkinkan tercapainya skala ekonomi dan dengan demikian membantu mendorong biaya VRE yang lebih murah di kawasan.

Dengan pertumbuhan permintaan baterai dan manufaktur, volume produksi nikel kelas I & II di Indonesia dan Filipina harus meningkat secara signifikan. Pengolahan nikel kelas I di Indonesia saat ini sangat intensif energi dan emisi. Dua metode utama produksi nikel, yaitu metode *rotary kiln electric furnace* (RKEF) dan *nickel pig iron* (NPI), merupakan metode yang intensif emisi karena ketergantungannya pada batu bara untuk produksi panas dan listrik.

Indonesia sendiri diproyeksikan akan memiliki produksi nikel sebesar 4,5 juta metrik ton pada tahun 2030. Lonjakan produksi ini akan ditanggung oleh lebih dari 50 pabrik peleburan (*smelter*) yang secara default akan menggunakan batu bara sebagai sumber listrik dan panas utama. Dengan menggunakan proyeksi rute produksi nikel sebesar 50% RKEF, 25% NPI, dan 25% HPAL, mandat penggunaan energi terbarukan untuk pemrosesan dapat membuka peluang permintaan sebesar ~1,7 hingga 2,8 GW untuk solusi tenaga listrik rendah karbon.

Selain itu, pencapaian produksi nikel rendah karbon juga akan menarik pasar baru dan menciptakan koridor hijau untuk wilayah produksi baterai (misalnya Uni Eropa (UE)) – sehingga menciptakan efek *cascading* pada sektor ketenagalistrikan, pemanasan di industri, dan pelayaran. Ketika

kebijakan perdagangan negara-negara maju (*Global North*) semakin mendukung produk-produk rendah karbon, kebutuhan untuk mengurangi emisi karbon dalam rantai pasokan dapat menjadi faktor kunci yang mendorong terciptanya koridor pengiriman nikel rendah karbon dari Asia ke UE atau AS. Salah satu contohnya adalah Peraturan Baterai UE, sebuah kebijakan yang mendorong agenda pengadaan bahan baku berkelanjutan, termasuk mempertimbangkan jejak karbon di seluruh prosesnya.

- 1. Ketenagalistrikan:** Karena permintaan akan produksi nikel rendah karbon akan meningkat, dekarbonisasi rantai pasokan industri dapat dipercepat. Proses pemurnian nikel yang intensif energi berarti sumber energi alternatif perlu diintegrasikan ke dalam pasokan listrik. Mekanisme penetapan harga karbon juga dapat memberikan insentif tambahan bagi penggunaan energi terbarukan, dan dengan hadirnya baterai dengan kinerja yang lebih baik, kemajuan teknologi kapasitas penyimpanan juga dapat diintegrasikan.
- 2. Pemanasan di industri:** Peningkatan penggunaan VRE dalam pasokan listrik di pabrik pemurnian mineral kritis mungkin menimbulkan permintaan sistem penyimpanan energi untuk mengakomodasi kebutuhan akan pemanasan yang intensif energi dan konstan dalam proses peleburan. Penerapan teknologi seperti penyimpanan energi panas-listrik (*electric-thermal energy storage/ETES*) untuk menghasilkan panas dengan temperatur sedang hingga tinggi di industri pemurnian mungkin dapat memberikan kurva pembelajaran bagi industri lain. Nilai-nilai penting seperti fleksibilitas beban untuk menyesuaikan waktu dari tenaga listrik berbasis VRE yang *intermittent*, keluaran dengan suhu tinggi, dan emisi karbon yang rendah akan terlihat menarik bagi proses industri lainnya yang akan mengarah pada penerapan lebih lanjut dan skala ekonomi.
- 3. Pelayaran:** Dalam industri pelayaran, salah satu kunci yang memungkinkan tercapainya *tipping point* untuk amonia hijau sebagai bahan bakar pelayaran adalah dengan mengembangkan koridor pelayaran hijau. Karena permintaan akan produksi nikel rendah karbon akan meningkat, mineral olahan ASEAN yang dikirim ke importir utama seperti UE dan AS kemungkinan besar akan diteliti di masa depan— termasuk emisi yang terkait dengan pengangkutan nikel olahan. Membangun produksi nikel rendah karbon di ASEAN, dengan nikel olahan yang diangkut dengan kapal yang berbahan bakar amonia hijau, dapat memulai koridor hijau yang baru.

Bukti yang mendukung potensi pengurangan biaya listrik dan pemanasan di industri secara cepat relatif tinggi/kuat, namun industri ini masih merupakan industri baru dengan data historis yang terbatas mengenai kasus penggunaannya, sehingga memberikan kita keyakinan yang moderat terhadap keberadaan *super leverage point* ini.

Gambar 9 di bawah ini menunjukkan *super-leverage point* yang dipilih dan *tipping cascades* yang akan terjadi setelahnya.

Gambar 9. Analisis *super-leverage point* pada industri nikel



AKSI KUNCI UNTUK MENGEMUKAKAN *TIPPING POINT* DI ASEAN

Agar solusi baru dapat mencapai *tipping point*, para pelaku di dalam sistem perlu beradaptasi dan berkoordinasi untuk mendukung solusi baru.

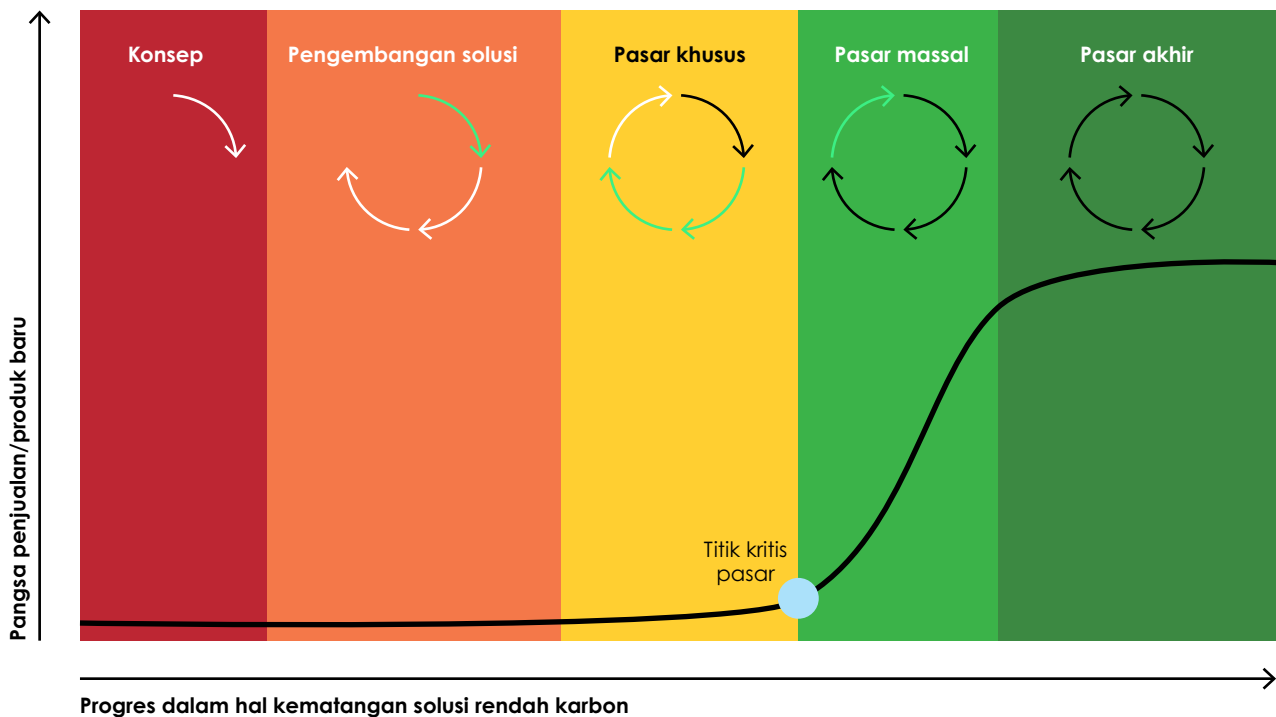
Ketika teknologi atau praktik baru muncul, mereka sering kali menghadapi perlawanan awal yang kuat dari teknologi atau praktik lama yang mendukung *status quo*. Dalam transportasi jalan raya, misalnya, penggunaan kendaraan bermesin pembakaran internal telah terpatritasi dalam struktur yang lebih besar sehingga membuat perubahan yang cepat sulit terjadi, seperti industri yang saling bergantung di seluruh rantai pasokan (misalnya, produsen suku cadang, perusahaan perawatan/perbaikan mobil, *dealer*, dll.), aset fisik yang ada (misalnya, jaringan dan stasiun pengisian bahan bakar), atau kerangka hukum dan peraturan (misalnya, pendapatan dari pajak bahan bakar). Contoh lain dari hal ini dapat ditemukan dalam tantangan transformasi sektor ketenagalistrikan di seluruh ASEAN: ketergantungan yang tinggi terhadap aset PLTU yang masih relatif muda untuk memenuhi permintaan dari pembangunan ekonomi yang terus meningkat, infrastruktur jaringan listrik yang tertinggal untuk mengakomodasi percepatan pembangunan energi terbarukan, dan kebijakan yang tidak mendukung adopsi energi terbarukan. Namun, ketika manfaat dari solusi baru ini mulai terlihat, para pelaku semakin banyak yang mendukung dan mendorong adopsinya.³⁹ Dalam praktiknya, hal ini berarti bahwa seringkali terdapat masa tunggu yang panjang untuk solusi-solusi baru ketika pangsa pasarnya secara keseluruhan masih kecil, sebelum terjadi pertumbuhan pesat.

³⁹ Brookings Institution (2019). *Accelerating the Low Carbon Transition: The Case for Stronger, More Targeted and Coordinated International Action*.

BERBAGAI JENIS AKSI DIPERLUKAN PADA BERBAGAI TAHAPAN ADOPSI.

Ketika teknologi dan praktik baru berkembang, teknologi dan praktik baru ini melewati serangkaian fase transisi yang memerlukan intervensi dan strategi yang berbeda-beda dari pembuat kebijakan, perusahaan, konsumen, dan pemodal. Hal ini secara umum dapat dikategorikan berdasarkan tahap adopsi Kurva S sebagai berikut⁴⁰:

Gambar 10. Contoh dari lima tahapan adopsi teknologi



Tahapan adopsi teknologi dan contoh tindakan untuk mempercepat tahapan tersebut

Konsep: Undang-undang CHIPS dan Sains AS mendukung penelitian dan pengembangan fusi nuklir dan bioteknologi.

Pengembangan solusi: Koalisi para penggerak pertama mendukung pengembangan amonia hijau di koridor pelayaran.

Pasar khusus (niche market): Undang-Undang Pengurangan Inflasi AS (IRA) memberikan kredit hidrogen hijau sebesar \$3/kg H₂ sehingga menjadikan biaya baja ramah lingkungan kompetitif di AS.⁴¹

Pasar massal: Program penetapan harga karbon, mandat solusi nol-emisi, larangan penggunaan boiler berbahan bakar fosil atau kendaraan ICE, menyesuaikan proses pengadaan listrik atau struktur pasar untuk mendukung integrasi tenaga surya/bayu.

Pasar akhir: Pengakhiran dini operasional PLTU (Eropa, AS).

⁴⁰ RMI (2022), Harnessing the Power of S-Curves.

⁴¹ RMI (2022), Green Hydrogen on an S-curve: Fast, Beneficial, and Inevitable.

Dalam konteks ASEAN, kami telah mengidentifikasi beberapa titik aksi (*action point*) yang spesifik, baik itu untuk pemerintah maupun sektor swasta di semua sektor prioritas untuk memunculkan *tipping point*. Bagian ini mencakup:

- Aksi-aksi yang dapat dilakukan pemerintah dalam memunculkan *tipping point* dari solusi dengan menciptakan lingkungan kebijakan dan regulasi yang mendukung, memberikan dukungan finansial dan insentif, serta berinvestasi pada infrastruktur bersama.
- Aksi-aksi yang dapat dilakukan oleh sektor swasta untuk memicu *tipping point* dengan mendorong inovasi dan adopsi teknologi, berinvestasi pada manufaktur lokal yang menghasilkan solusi *net-zero*, membangun koalisi pasar untuk produk-produk rendah karbon, dan menyediakan pembiayaan berbiaya rendah.



1. Sektor ketenagalistrikan

Karena sebagian besar pasar listrik di ASEAN diatur, dukungan kebijakan dan regulasi diperlukan untuk memungkinkan percepatan pemanfaatan *variable renewable energy* (VRE). Sementara itu, sektor swasta dapat membantu mewujudkan pemanfaatan ini dengan berinvestasi pada PLTS lokal dan rantai pasokan baterai untuk mengurangi risiko rantai pasokan dan menurunkan harga, serta mengembangkan koalisi pasar untuk memastikan adanya permintaan listrik ramah lingkungan yang kuat.

Aksi kunci untuk memicu *tipping point* di sektor ketenagalistrikan:

Untuk pemerintah:

- **Menetapkan target adopsi VRE yang ambisius** (untuk mencapai emisi nol-bersih pada pertengahan abad ini atau lebih awal).
- **Menyederhanakan strategi penghentian bertahap penggunaan batubara** untuk membuka kapasitas pasokan energi terbarukan.
- **Meningkatkan aturan/desain pasar dengan menyingkirkan hambatan dan memberikan dukungan untuk adopsi VRE.** Hal ini mencakup peningkatan kepastian pasar dan alokasi risiko yang adil dalam perjanjian jual beli listrik dengan menyediakan regulasi yang jelas, konsisten, dan mendukung. Dua aksi kunci spesifik untuk mewujudkannya antara lain:
 - ▶ **Menyingkirkan hambatan untuk adopsi VRE**, termasuk mengatasi kelebihan kapasitas batubara (di beberapa negara), menyederhanakan negosiasi ulang PPA batubara yang kaku untuk membuka fleksibilitas sistem yang lebih luas, merencanakan penghentian bertahap subsidi bahan bakar fosil (misalnya, pembatasan harga dalam negeri) untuk menciptakan lingkungan persaingan yang adil bagi energi terbarukan.
 - ▶ **Mendukung pengembangan sederetan proyek PLTS (dan PLTS+baterai) berskala gigawatt**—termasuk dukungan penyediaan lahan—dan menggunakan lelang terbalik untuk sepenuhnya memanfaatkan penurunan harga PLTS+baterai dan skala ekonomi dari lelang. Misalnya, pemerintah dapat menjajaki potensi PLTS terapung, khususnya pada reservoir pembangkit listrik tenaga air, karena hal ini dapat menjadi solusi cepat bagi negara-negara untuk mengembangkan PLTS skala besar dengan biaya terkait lahan yang rendah atau bahkan tanpa biaya sama sekali dan tanpa memerlukan investasi yang besar untuk transmisi.⁴²
- **Berinvestasi pada infrastruktur jaringan listrik** untuk lebih meningkatkan kemampuan dalam melakukan pembangunan energi terbarukan, termasuk transmisi lintas batas. Hal ini juga akan meningkatkan keandalan jaringan listrik untuk mengurangi kekhawatiran terkait operasional.
- **Memungkinkan penerapan *power wheeling*** untuk meningkatkan aksesibilitas energi terbarukan untuk pasar *captive*. Di luar pasar utilitas yang diatur, menerapkan *power wheeling* dapat membantu mempercepat pemanfaatan VRE dari sisi pembangkitan terdistribusi.

Untuk sektor swasta:

- **Melanjutkan investasi pada manufaktur PLTS dan baterai lokal** untuk mengamankan rantai pasokan lokal dan mendorong penurunan harga lokal lebih jauh lagi.⁴³
- **Membangun koalisi pasar** untuk produk-produk yang menggunakan listrik rendah karbon.

⁴² Indonesia, contohnya, saat ini sedang mengembangkan proyek PLTS terapung terbesar (~200 MWp) di ASEAN dan baru-baru ini menandatangani rencana pengembangan untuk melipatgandakan kapasitasnya menjadi tiga kalinya. Masdar (2023), "Agreement to triple size of ASEAN's floating solar plant."

⁴³ Vietnam, Malaysia, dan Thailand memproduksi ~10% dari sel dan modul PLTS di dunia, walaupun manufakturnya sebagian besar dimiliki oleh perusahaan manufaktur Cina, dan mereka adalah net-eksportir dari produk-produk PLTS (kebutuhan dalam negeri lebih rendah). ADB et al. (2023), *Renewable Energy Manufacturing: Opportunities for Southeast Asia*.



2. Transportasi jalan raya: kendaraan bermotor roda dua

Untuk kendaraan listrik roda dua, yang sudah hampir mencapai kesetaraan harga unit baru, baik pemerintah maupun sektor swasta dapat bekerja sama untuk lebih meningkatkan daya saing harga unit baru melalui subsidi yang ditargetkan, investasi berkelanjutan pada manufaktur baterai dan E2W lokal, serta peningkatan tingkat pembiayaan dan opsi untuk memungkinkan adopsi pasar yang lebih luas. Investasi pada infrastruktur pengisian daya umum juga akan memungkinkan aksesibilitas yang lebih luas terhadap adopsi E2W.

Aksi kunci untuk memicu tipping point di kendaraan listrik roda dua:

Untuk pemerintah:

- **Memberikan subsidi yang ditargetkan** untuk mendukung penelitian dan pengembangan serta manufaktur bagi OEM untuk mendorong daya saing harga unit baru.
- **Berinvestasi pada infrastruktur pengisian daya** untuk kendaraan listrik untuk meningkatkan aksesibilitas dan mengurangi kekhawatiran terkait rentang tempuh.

Untuk sektor swasta:

- **Melanjutkan investasi di manufaktur baterai dan E2W lokal** untuk semakin menurunkan harga unit kendaraan baru.
- **Menyediakan pembiayaan berbiaya rendah** bagi kendaraan listrik roda dua.



3. Transportasi jalan raya: bus

Upaya untuk memunculkan *tipping point* bus listrik akan bergantung pada pengurangan lebih lanjut biaya di muka yang tinggi, yang sebagian besar disebabkan oleh biaya baterai. Model bisnis inovatif yang memisahkan kepemilikan aset untuk mengurangi risiko teknologi/operasional dan persyaratan biaya di muka adalah beberapa solusi potensial untuk mempercepat adopsi bus listrik. Untuk melakukan hal ini, pemerintah dapat menciptakan kondisi peraturan agar model adopsi ini layak untuk dilaksanakan. Dunia usaha dan investor dapat terus menjajaki dan menguji coba model pembiayaan yang inovatif, serta berinvestasi pada manufaktur baterai dan bus listrik lokal untuk semakin menurunkan harga unit kendaraan baru.

Aksi kunci untuk memicu tipping point di e-bus:

Untuk pemerintah:

- **Menciptakan kerangka regulasi untuk memungkinkan penerapan model bisnis yang inovatif** (misalnya, model sewa dan mengoperasikan (*lease and operate*), model *mobility-as-a-service*). Sebagai contoh, mendukung proses pengadaan atau izin perpanjangan bagi kontrak non-operator dengan otoritas transportasi untuk melibatkan lebih banyak pelaku pasar.
- **Menyalurkan subsidi yang ditargetkan** untuk mendukung penelitian dan pengembangan serta manufaktur untuk OEM untuk mendorong daya saing harga unit baru.
- **Berinvestasi pada infrastruktur pengisian daya** untuk kendaraan listrik untuk meningkatkan aksesibilitas dan mengurangi kekhawatiran terkait rentang tempuh.

Untuk sektor swasta:

- **Terus berinvestasi pada manufaktur baterai dan e-bus lokal** untuk lebih menurunkan harga unit kendaraan baru.
- **Menjajaki pembiayaan yang inovatif** untuk e-bus, seperti pembiayaan karbon yang diterapkan di Thailand, yang bekerjasama dengan Swiss di bawah ketentuan Pasal 6.2 dari Persetujuan Paris.



4. Pemanasan di industri

Untuk mempercepat adopsi elektrifikasi langsung dari teknologi pemanasan, pemerintah dapat menyediakan lingkungan yang mendukung dan dukungan regulasi yang kuat untuk memberikan insentif bagi transisi teknologi. Meningkatkan kesadaran akan *heat pump* dan ETES juga akan menjadi kunci karena saat ini teknologi-teknologi tersebut masih pada tahap yang tergolong belia di ASEAN.

Aksi kunci untuk memicu *tipping point* di sektor pemanasan di industri:

Untuk pemerintah:

- **Memberikan dukungan regulasi dan finansial untuk elektrifikasi langsung pemanasan** (seperti melalui tarif listrik preferensial, pajak karbon terhadap bahan bakar petahana) untuk mendorong penghentian penggunaan batubara dalam pemanasan.
- **Meningkatkan efisiensi energi, kualitas udara, dan/atau standar emisi** di sektor pemanasan di industri untuk meningkatkan daya tarik dari (peralihan ke) pemanasan yang bersih.
- **Menetapkan mandat** bagi kawasan industri untuk menerapkan pemanasan dengan elektrifikasi langsung.
- **(Khusus untuk ETES) Menyederhanakan perizinan untuk pembangkit listrik *captive***, termasuk memperbolehkan penyaluran kabel pribadi (*private wire*) dari pembangkitan listrik VRE di dekat lokasi dan memperbolehkan *power wheeling* untuk menyalurkan listrik melalui jaringan listrik dari lokasi pembangkit VRE terdedikasi ke lokasi industri.

Untuk sektor swasta:

- **Mendorong upaya pengenalan teknologi** khususnya untuk *air-source* heat pump dan ETES.
- **Membangun koalisi pasar** untuk produk-produk yang menggunakan pemanasan rendah karbon.
- **Memberikan dukungan pembiayaan dengan biaya rendah** untuk elektrifikasi langsung (misalnya, oleh pembeli (*off-taker*) utama).

5. Pelayaran



Walaupun kontribusi ASEAN terhadap produksi amonia hijau untuk bahan bakar pelayaran diperkirakan terbatas (lihat bagian 3), ASEAN masih diposisikan untuk memainkan peran strategis sebagai penerima manfaat dari koridor pelayaran hijau. Untuk memanfaatkan peluang ini, Negara-negara Anggota ASEAN dapat menciptakan kondisi yang tepat untuk mempercepat kemajuan dan mempersiapkan diri menghadapi transisi. Hal ini termasuk menerapkan peraturan yang lebih ambisius mengenai dekarbonisasi pelabuhan, dan mendukung studi mengenai penanganan dan keamanan amonia untuk mengatasi kekhawatiran seputar hal tersebut. Demikian pula, sektor swasta di ASEAN dapat mulai mengembangkan koalisi pasar untuk pelayaran rendah karbon guna menciptakan dorongan permintaan akan teknologi dan infrastruktur pendukungnya.

Aksi kunci untuk mendorong *tipping point* di amonia hijau untuk bahan bakar pelayaran antara lain:

Untuk pemerintah:

- **Menerapkan peraturan lingkungan hidup yang lebih ketat** untuk pelabuhan-pelabuhan internasional atau pajak karbon bagi bahan bakar petahana sehingga memberikan insentif bagi peralihan ke pelayaran rendah karbon.
- **Menyediakan insentif untuk pengembangan koridor hijau**, termasuk *bunkering* amonia.
- **Mendukung studi internasional dan penyesuaian standar untuk penanganan dan keselamatan amonia** untuk mengatasi kekhawatiran seputar amonia dan mempersiapkan tenaga kerja dengan lebih baik.
- **Mulai mengidentifikasi Zona Ekonomi Khusus yang potensial** untuk mengembangkan koridor hijau di kawasan ASEAN.

Untuk sektor swasta:

- **Membangun koalisi pasar** untuk produk-produk yang menggunakan pelayaran rendah karbon.

6. Pemurnian mineral



Seiring dengan meningkatnya permintaan akan mineral kritis (misalnya nikel dan logam tanah jarang) di ASEAN, terdapat peluang besar untuk melakukan dekarbonisasi rantai pasokan dengan memastikan bahwa mineral kritis ini diproses menggunakan energi rendah karbon. Untuk melakukan hal ini, pemerintah dapat menerapkan mandat penggunaan listrik dan pemanasan yang bersih (ramah lingkungan) untuk mineral-mineral kritis. Sementara itu, pemilik pabrik pemurnian mineral dapat mulai mengidentifikasi lokasi potensial untuk menerapkan pemurnian mineral rendah karbon menggunakan VRE dan ETES.

Aksi kunci untuk memicu *tipping point* di pemurnian mineral:

Untuk pemerintah:

- **Menetapkan mandat** untuk menggunakan listrik dan proses pemanasan yang bersih (ramah lingkungan) untuk pemurnian mineral kritis.

Untuk sektor swasta:

- **Mengidentifikasi lokasi potensial** untuk menerapkan teknologi rendah karbon (misalnya, VRE + ETES).

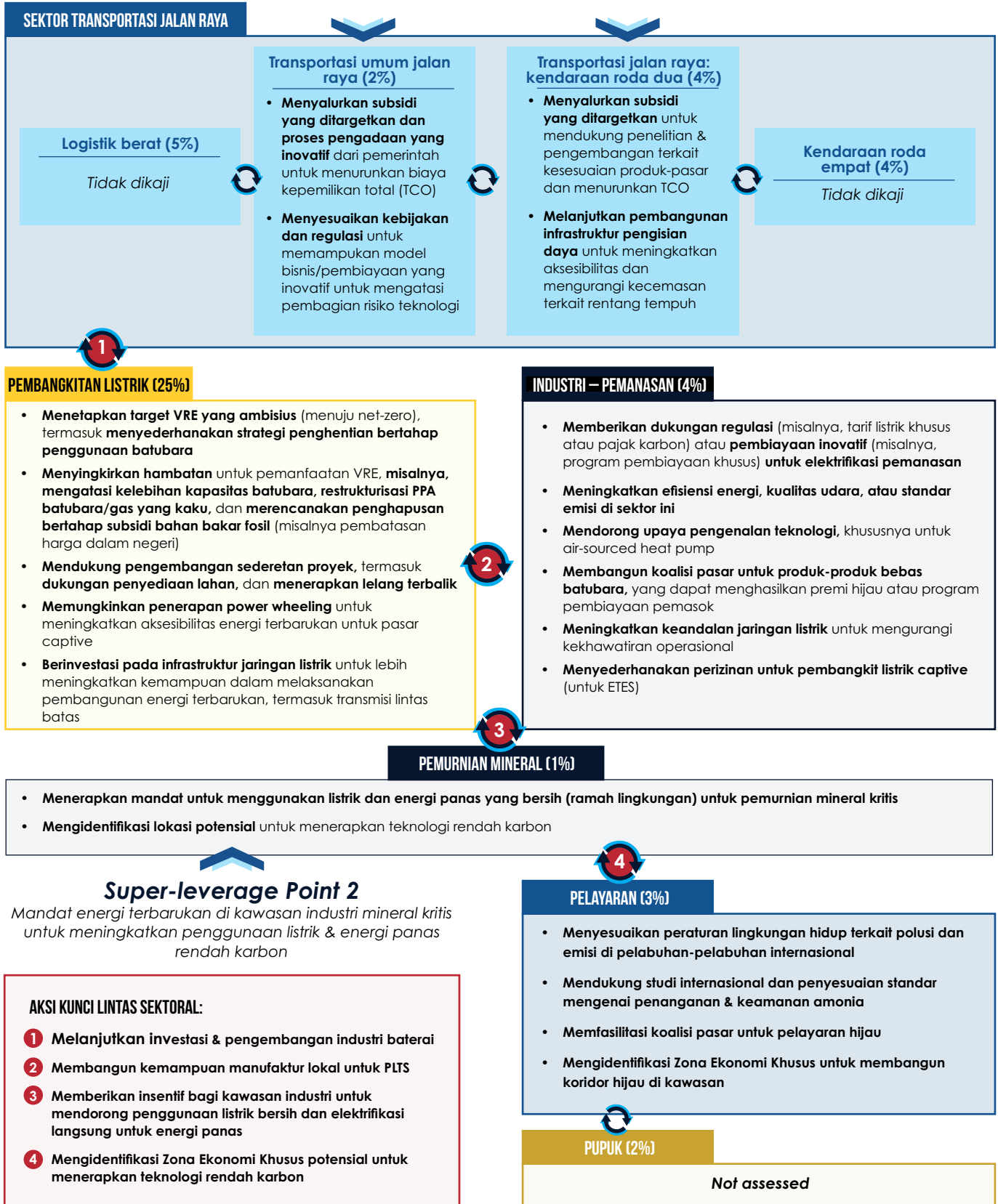
Gambar 11 lebih lanjut merangkum aksi kunci di berbagai sektor dan mengidentifikasi *super-leverage point*-nya. Aksi kunci tersebut diidentifikasi sebagai aksi strategis atau aksi lintas sektoral:

- **Aksi strategis** mengacu pada aksi kunci yang dapat membantu kategori sektor geografi tertentu untuk mencapai *tipping point*-nya dalam waktu dekat. Aksi kunci ini memberikan dampak terbesar terhadap *tipping point* dan telah terbukti berhasil di negara atau sektor lain yang telah mencapai tahap adopsi massal teknologi rendah karbon.
- **Aksi lintas sektoral** mengacu pada aksi kunci yang relevan dan dapat diterapkan di berbagai sektor prioritas. Aksi kunci ini dapat membantu berbagai sektor mencapai *tipping point*-nya dan dirancang untuk mengatasi permasalahan atau tantangan yang lebih luas yang tidak terbatas pada satu sektor tertentu saja. Tantangan dan putaran umpan balik yang serupa dapat ditemukan di semua sektor, dan melakukan aksi kunci lintas sektoral ini akan memastikan efisiensi yang lebih besar dalam alokasi sumber daya dalam perjalanan untuk mencapai *tipping point*. Pemerintah negara-negara ASEAN dan praktisi industri harus menyelaraskan tujuan dan sasaran besar mereka ketika melaksanakan aksi lintas sektoral ini. Pemerintah negara-negara ASEAN dan praktisi industri harus menyelaraskan tujuan dan sasaran besar mereka ketika melaksanakan aksi lintas sektoral ini.

Gambar 11. Aksi kunci dan aksi lintas sektoral dalam enam sektor prioritas di ASEAN

Super-leverage Point 1

Mandat kendaraan nol-emisi (ZEV) untuk kendaraan roda dua dan bus (30% mandat ZEV menimbulkan minimal ~75 GWh permintaan baterai)



Peluang dan risiko utama

Peluang:

Transisi menuju perekonomian rendah karbon berpotensi menciptakan perekonomian global yang lebih sejahtera dan berkeadilan di berbagai bidang:

Pengembangan rantai nilai: Perekonomian rendah karbon memberikan peluang bagi negara-negara untuk melakukan transisi ke sektor ekonomi "hijau" baru mengingat adanya permintaan yang baru muncul atau meningkat terhadap teknologi rendah karbon. Peralihan ke sektor-sektor ini berarti perlu adanya rantai nilai baru, dan negara-negara akan diberikan peluang untuk memperoleh keuntungan modal dari transisi ini. ASEAN sendiri kemungkinan akan memperoleh keuntungan sekitar US\$1 miliar dan memungkinkan akses terhadap pembiayaan sebesar ~US\$2 triliun dengan membangun ekonomi rendah karbon.^{44,45} Beberapa negara ASEAN telah mempergunakan kesempatan transisi ini, seperti Indonesia dan Filipina yang sedang mengembangkan proses rantai pasokan hulu untuk meningkatkan nilai produk nikel mereka yang sangat penting bagi rantai pasokan kendaraan listrik global.

Lapangan pekerjaan baru: Transisi hijau menawarkan peluang untuk memperluas jumlah lapangan pekerjaan di sepanjang rantai pasokan dan menciptakan peluang bagi banyak rumah tangga. IEA memproyeksikan bahwa transisi ke energi bersih sendiri akan menghasilkan empat kali lebih banyak lapangan pekerjaan baru pada tahun 2030 dibandingkan dengan lapangan pekerjaan yang akan hilang di sektor bahan bakar fosil.⁴⁶ Di ASEAN, transisi menuju ekonomi hijau diharapkan dapat menciptakan 5–6 juta lapangan pekerjaan baru di kawasan ASEAN yang akan mendorong pertumbuhan ekonomi dan mengatasi tingginya tingkat pengangguran yang terus berlanjut di kawasan tersebut.^{47,48} Adanya keterkaitan antara energi bersih dengan sektor-sektor lainnya juga berarti bahwa akan ada lebih banyak lapangan pekerjaan tidak langsung yang tercipta dan mendorong pertumbuhan di industri lain.

Kesehatan masyarakat: Peralihan dari perekonomian tinggi karbon juga dapat mengurangi dampak buruk lainnya terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat, termasuk polusi udara dan hilangnya keanekaragaman hayati. Peralihan ini mempunyai manfaat tambahan dalam mengurangi dampak pembakaran bahan bakar fosil, yang menyebabkan 1 setiap 5 kematian secara global dan berdampak

besar pada masyarakat berpenghasilan rendah.^{49,50} Memaksimalkan manfaat potensial dari transisi ini memerlukan fokus pada peningkatan industri rendah karbon secara bertanggung jawab, misalnya dengan mengembangkan solusi pertambangan berdampak rendah, meningkatkan sirkularitas material secara signifikan, dan berinvestasi untuk memungkinkan karyawan industri fosil mendapatkan pekerjaan baru.

Risiko:

Ketahanan energi dan kesiapan infrastruktur:

Dengan adanya peralihan ke energi terbarukan dalam sistem ketenagalistrikan, terdapat risiko keandalan jaringan listrik jika transisi tersebut tidak dikelola dengan baik. Infrastruktur jaringan listrik yang ada di ASEAN saat ini pada awalnya dirancang untuk mendukung produksi energi berbasis bahan bakar fosil, yang memungkinkan pembangkitan daya listrik terprogram sesuai permintaan (*dispatchable generation*) untuk mengimbangi fluktuasi permintaan. Jaringan ini awalnya tidak dimaksudkan untuk mengakomodasi pembangkit listrik variabel dari instalasi tenaga bayu dan surya, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Sebagai catatan, banyak negara telah mendorong penggunaan energi terbarukan (tenaga surya/ angin) hingga 30% dari total pembangkitan listrik, dan sedang mencari solusi untuk mengelola keandalan jaringan listrik dan terus menerapkannya dengan cepat. Negara-negara tertentu bahkan jauh melampaui angka ini (misalnya Denmark yang sudah mencapai ~55% penetrasi tenaga surya/angin).

Jangkauan infrastruktur juga perlu dipertimbangkan, karena jaringan listrik yang ada dirancang untuk melayani transmisi listrik dari beberapa pembangkit listrik besar dengan kemampuan membentuk jaringan listrik dan sedang berusaha untuk mengimbangi pembangunan proyek-proyek energi terbarukan yang tersebar dan *intermittent*. Akibatnya, jalur transmisi baru yang mencakup jarak jauh, melintasi medan yang sulit diakses, dan mematuhi berbagai persyaratan lingkungan dan peraturan akan diperlukan untuk menghubungkan proyek energi terbarukan dengan permintaan baru. Risiko yang terkait dengan persyaratan ruang dan hak atas lahan perlu dimitigasi dengan tepat karena lokasi pembangkit energi terbarukan terbaik sering kali berlokasi jauh dari infrastruktur jaringan listrik yang ada.

⁴⁴ Bain & Company (2020), Southeast Asia's Green Economy: Pathway to Full Potential.

⁴⁵ Bain & Company (2023), Southeast Asia's Green Economy 2023 Report: Cracking the Code.

⁴⁶ IEA (2021), World Energy Outlook: People-Centred Transition.

⁴⁷ Bain & Company (2023), Southeast Asia's Green Economy 2023 Report: Cracking the Code.

⁴⁸ ASEAN Secretariat (2023), ASEAN Employment Outlook: The Quest for Decent Work in Platform Economy: Issues, Opportunities and Ways Forward.

⁴⁹ HSPH T.H. Chan School of Public Health (2021), "Fossil fuel air pollution responsible for 1 in 5 deaths worldwide."

⁵⁰ PNAS (2019), "Inequity in Consumption of Goods and Services Adds to Racial-Ethnic Disparities in Air Pollution Exposure."

⁵¹ BloombergNEF (2022), 1H Battery Metals Outlook.

Risiko rantai pasokan mineral kritis: Seiring dengan percepatan transisi energi, produksi energi terbarukan, baterai, elektroliser, dan jaringan listrik akan menyebabkan peningkatan besar dalam permintaan mineral kritis, misalnya permintaan lithium-ion akan meningkat ~7x pada tahun 2030.⁵¹ Namun, cadangan mineral seringkali terletak di kawasan yang sensitif secara ekologis dan sosial (misalnya, nikel sangat terkonsentrasi di Indonesia dan Filipina), yang berarti bahwa potensi eksploitasi di lokasi-lokasi tersebut memerlukan penilaian dan mitigasi terhadap potensi dampak negatifnya yang dipertimbangkan dengan matang. Selain itu, rentang waktu proyek yang panjang (misalnya, 7-10 tahun untuk tambang nikel) berarti bahwa peningkatan pasokan pada kecepatan yang diperlukan untuk transisi dapat menjadi tantangan jika tidak ada upaya untuk menguranginya atau inovasi-inovasi lain.⁵² Hal ini harus dikelola secara hati-hati untuk menghindari hambatan dalam penerapan berbagai solusi energi nol karbon, serta dampak buruk dari ekstraksi mineral-mineral tersebut.

Memperbaiki sistem pemulihan dan daur ulang material akan sangat penting untuk memastikan bahwa pasokan dapat mengimbangi peningkatan permintaan dan untuk mengelola intensitas sumber daya transisi dalam jangka panjang. Menciptakan sistem pemulihan dan daur ulang yang lebih efektif sangat penting untuk mengurangi pertumbuhan permintaan bahan mentah ketika persediaan teknologi energi bersih sudah habis masa pakainya. Hal ini dapat dicapai dengan sistem kebijakan dan insentif yang tepat, serta pembangunan logistik dan infrastruktur. Jika berhasil diterapkan, hal ini dapat menyebabkan penurunan kebutuhan permintaan primer pada tahun 2040-an, sehingga mengurangi banyak dampak pertambangan dalam jangka menengah hingga panjang.⁵³

Transisi berkeadilan: Melatih kembali tenaga kerja untuk pekerjaan baru dalam transisi rendah karbon juga penting untuk memastikan kekurangan keterampilan tidak menjadi hambatan dan untuk memastikan transisi yang berkeadilan. Pertumbuhan di sektor-sektor seperti energi terbarukan, bangunan hemat energi, ekonomi pangan lokal, dan restorasi lahan kemungkinan besar akan terjadi di ASEAN, dan kawasan ini akan menciptakan peluang kerja baru dari pertumbuhan hijau. Meskipun jumlah lapangan pekerjaan baru yang dihasilkan oleh transisi menuju perekonomian nol karbon jauh lebih besar daripada jumlah lapangan pekerjaan yang akan digantikan seiring dengan surutnya industri lama, ribuan lapangan pekerjaan masih akan terkena dampaknya.

Di industri batu bara Indonesia saja, diperkirakan sekitar 250.000 pekerjaan perlu dialihkan, sementara 35.000 pekerja di sektor minyak dan gas alam Malaysia juga akan terdampak. Penting untuk mendukung pekerja untuk beralih ke industri yang sedang berkembang guna memastikan transisi tersebut memberikan peluang untuk mengurangi kesenjangan dan emisi. Pemerintah mulai menunjukkan bagaimana menjamin terjadinya transisi yang berkeadilan. Strategi-strategi ini berpusat pada investasi dalam pengembangan industri-industri baru di wilayah-wilayah yang perekonomiannya paling bergantung pada industri bahan bakar fosil, pelatihan ulang tenaga kerja dan dukungan relokasi, serta penyediaan jaring pengaman sosial.

⁵² BloombergNEF (2022), Global Copper Outlook 2022.

⁵³ WWF (2022), The Future is Circular: Circular Economy and Critical Minerals for the Green Transition.



LAMPIRAN A: KUMPULAN STUDI KASUS



KENDARAAN LISTRIK RODA DUA (E2W) DALAM TRANSPORTASI JALAN RAYA

Judul		Ringkasan
Kemajuan Industrialisasi dan Teknologi E2W Cina		Pertumbuhan eksponensial penjualan kendaraan listrik roda dua di Cina karena adanya kesesuaian pasar-produk, skala ekonomi produksi, dan kemajuan teknologi
Subsidi dan Pelonggaran Peraturan India untuk Kendaraan Listrik Roda Dua		Kebijakan elektrifikasi nasional India memberikan subsidi dan pelonggaran peraturan untuk mempercepat adopsi kendaraan listrik roda dua



BUS LISTRIK (E-BUS) DALAM TRANSPORTASI JALAN RAYA

Judul		Ringkasan
Percepatan Adopsi E-bus Santiago		Kebijakan elektrifikasi pemerintah dan kemitraan publik-swasta menghasilkan elektrifikasi armada bus di Kota Santiago, Chili
Oslo, Pengadaan E-bus Massal Norwegia		Pengadaan massal membuat Oslo menjadi kota pertama di dunia yang memiliki transportasi publik serba listrik
Subsidi Mobilitas Elektronik Nasional India untuk OEM E-bus		Subsidi mobilitas elektronik nasional India memberikan peluang bagi OEM untuk mulai mengadopsi e-bus
Shenzen, Elektrifikasi Armada Bus Umum Cina		Kebijakan nol-emisi Cina memberikan insentif dan infrastruktur pendukung untuk mempercepat adopsi e-bus di Shenzhen, Cina



PLTS & BATERAI PENYIMPANAN DALAM KETENAGALISTRIKAN

Judul		Ringkasan
Percepatan Pemanfaatan Tenaga Surya di Malaysia Karena Lelang yang Lebih Baik		Lelang PLTS nasional mengatasi tiga ancaman di sektor ketenagalistrikan Malaysia
Program Lelang Tahunan Filipina Menghasilkan Percepatan Adopsi Tenaga Surya		Program lelang tahunan Filipina memberikan peluang bagi negara tersebut untuk melepaskan ketergantungan pada batubara/minyak dan volatilitas pasar internasional
Skema Feed-in-Tariff Vietnam		Skema Feed-in-Tariff nasional meningkatkan penggunaan PLTS Vietnam



ELEKTRIFIKASI LANGSUNG UNTUK PEMANASAN DI INDUSTRI

Judul		Ringkasan
Dukungan Subsidi dan Kebijakan Uni Eropa untuk Mendorong Pertumbuhan Heat Pump Industri		Adanya kebijakan dan insentif keuangan mendorong pertumbuhan pasar pompa kalor industri di Eropa
Dukungan Inflation Reduction Act (IRA) AS untuk Heat Pump Industri		Insentif keuangan dan program bantuan teknis IRA memberikan peluang untuk mengatalsis dan melakukan dekarbonisasi pemanasan di industri AS



AMONIA HIJAU UNTUK BAHAN BAKAR DALAM PELAYARAN

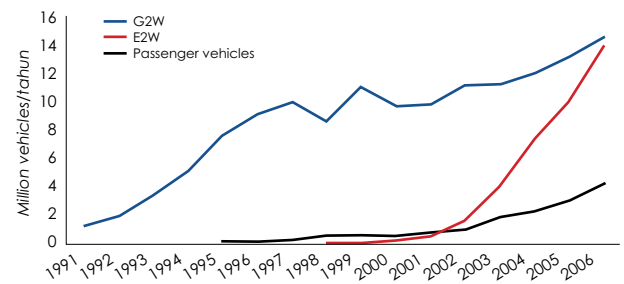
Judul		Ringkasan
Pengembangan Amonia Hijau Yara untuk Pelayaran		Yara memanfaatkan jalur dekarbonisasi industri pelayaran dengan mengembangkan infrastruktur dan jaringan amonia hijau
Pembangunan Pabrik Amonia Hijau Terbesar di Dunia di Afrika Selatan		Permintaan global akan amonia hijau mendorong pembangunan pabrik amonia hijau terbesar di dunia di Afrika Selatan
Terminal ACE Belanda		Terminal amonia hijau di Belanda akan mengatalsis adopsi amonia hijau dalam industri pelayaran

KEMAJUAN INDUSTRIALISASI DAN TEKNOLOGI E2W CINA



Konteks

Tren penjualan historis antara E2W dan ICE 2W. Pada tahun 1998, penjualan tahunan kendaraan listrik roda dua (*Electric 2-wheelers/E2W*) di Cina bahkan tidak sampai 100,000 unit/tahun, sementara penjualan kendaraan roda dua bermesin pembakaran internal (*Internal Combustion Engine 2-Wheelers/ICE 2W*) mendekati 9 juta unit/tahun. Pada tahun 2006, penjualan tahunan E2W sudah setara dengan ICE 2W. Sekarang, Cina memiliki proporsi kepemilikan dan penjualan E2W terbesar secara global.¹



Gambar 1.1 Motorized Vehicles Sales in China

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Perkembangan E2W yang eksponensial di Cina ini dapat dikaitkan dengan kemajuan teknologi efisiensi motor dan pengurangan harga unit baru E2W secara signifikan sehingga meningkatkan daya tarik dari sudut pandang kesesuaian produk-pasar dan keterjangkauan teknologi.

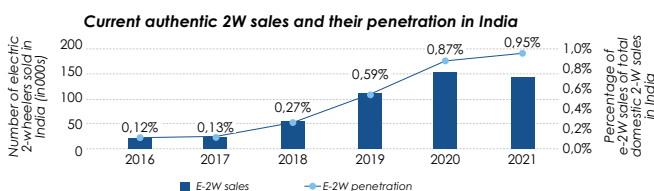
- **Daya Tarik.** Dalam hal daya tarik, motor E2W mengalami kemajuan teknologi yang signifikan, terutama dalam hal efisiensi motor. Antara tahun 1995 dan 2000, peningkatan efisiensi E2W menghasilkan 60% peningkatan rentang tempuh, pertimbangan utama konsumen pada saat itu. Keputusan pemerintah untuk menghapuskan skuter berbahan bakar bensin yang banyak menghasilkan emisi membuat E2W semakin menarik dibandingkan dengan ICE 2W.¹
- **Keterjangkauan.** Pada tahun 1999, harga rata-rata satu unit E2W adalah US\$310. Pada akhir tahun 2003, harga tersebut telah turun menjadi US\$188. Penurunan harga yang signifikan hanya dalam waktu empat tahun ini didorong oleh pertumbuhan industri yang besar, yang menghasilkan skala ekonomi. Sebagai contoh, baik E2W maupun komponennya mengalami peningkatan produksi setelah standar e-bike nasional disahkan pada tahun 1999 dan izin produksi e-bike diberikan di beberapa kota.

SUBSIDI DAN PELONGGARAN PERATURAN INDIA UNTUK KENDARAAN LISTRIK RODA DUA

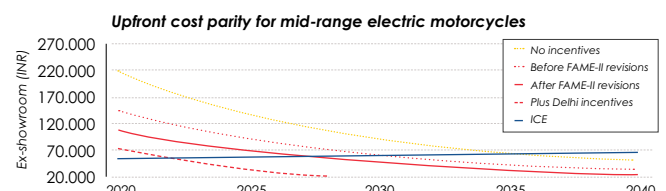


Konteks

Adopsi eksponensial India dalam kendaraan listrik roda dua (E2W). Meningkatnya kepedulian terhadap lingkungan hidup, ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil, dan komitmen pemerintah untuk mengurangi intensitas emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 33-35% pada tahun 2030, telah mendorong pemerintah untuk mempercepat dekarbonisasi sektor transportasi, yang merupakan sektor penghasil emisi terbesar ke-4 di negara ini.^{1,2} Saat ini, India adalah pasar E2W terbesar kedua, hanya tertinggal di belakang Cina.³ Pada tahun 2021, pasar E2W mengalami pertumbuhan penjualan dari tahun ke tahun sebesar 305% dan diperkirakan akan terus tumbuh sebesar 29% hingga mencapai US\$ ~1 miliar pada tahun 2028.^{4,5}



Gambar. Current electric 2W sales and their penetration in India. Sources: Society of Manufacturers of Electric Vehicles (EV).



Gambar. Impact of incentives on upfront cost-parity for mid-range electric motorcycles.

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Peningkatan keterjangkauan dan daya tarik dari skema *Faster Adoption and Manufacturing of Hybrid and Electric Vehicles (FAME)* India telah mendorong adopsi penggunaan E2W di India. FAME adalah sebuah program insentif yang bertujuan untuk mendorong pembelian kendaraan listrik dan hibrida dengan memberikan subsidi kepada produsen peralatan asli (*Original Equipment Manufacturer/OEM*) guna mendorong penggunaan kendaraan listrik, termasuk kendaraan E2W. Program ini dimulai pada tahun 2015 dan telah mendukung penggunaan E2W dengan faktor-faktor pendorong berikut.

- **Keterjangkauan.** FAME menyediakan subsidi bagi produsen peralatan asli (OEM) hingga US\$240 untuk E2W dengan spesifikasi khusus. Hasilnya, jumlah OEM untuk E2W meningkat secara signifikan, dan hingga tahun 2020, terdapat 58 OEM untuk E2W, jumlah OEM untuk E2W terbanyak di dunia.⁸
- **Daya tarik.** Di bawah program ini, pelonggaran peraturan juga dilakukan dan registrasi serta izin mengemudi untuk E2W dengan kecepatan kurang dari 25 km/jam tidak lagi diperlukan. Hal ini mengurangi biaya transaksi bagi konsumen untuk membeli kendaraan listrik, sehingga semakin mendorong adopsi E2W.

Sumber (1): [1] W. X. Jonathan. (2007). The Rise of Electric Two-wheelers in China: Factors for their Success and Implications for the Future

Sumber (2): [1] Pemerintah India. (2017). Nationally Determined Contribution. [2] Tiseo, I. (2023). Distribution of GHG emissions in India 2020, by sector; [3] McKinsey & Co. (2022). Capturing growth in Asia's emerging EV ecosystem; [4] Autocar India. (2023). Electric two-wheeler sales up 305 percent in 2022; [5] Businesswire. (2022). India Electric Two-Wheeler Market Report 2022-2028F: Government Initiatives and Environmental Consciousness, A Shift Towards Advanced Technology, & Reduction in Cost of Ownership; [6] Kumar, P & Singh, A. Complete Decarbonization of 2-Wheeler Segment in India by 2030: Expected e-2Ws Sales and Battery capacity Requirement. WRI India; [7] Rokadina, S. (2021). FAME II revisions spark hopes for a jump in electric two-wheelers sales in India; [8] E-Vehicle Info. (2022). Daftar produsen kendaraan listrik roda dua di India.

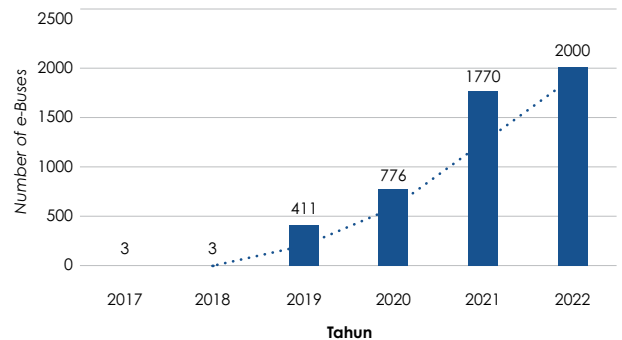
PERCEPATAN ADOPSI BUS LISTRIK SANTIAGO



Konteks

Adopsi bus listrik (e-bus) untuk mengatasi masalah polusi udara kota Santiago. Pada awal tahun 1990-an, Santiago menjadi salah satu kota yang paling tercemar di Amerika Latin. Sekitar 1.300 – 2.900 kematian dini disebabkan oleh polusi udara setiap tahun antara tahun 1989 – 1991.^{1,2} Salah satu strategi pemerintah untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mengurangi emisi dari sektor transportasi, sektor yang menghasilkan emisi terbesar di Chili. Kota ini bertujuan untuk melakukan elektrifikasi pada bus mereka karena bus umum menyumbang lebih dari 25% penggunaan angkutan umum. Kini, Chili menjadi negara dengan armada bus listrik terbesar kedua di dunia, hasil dari kemitraan strategis pemerintah-swasta dan peralihan fokus pemerintah ke e-bus.³

Total number of e-Buses in Santiago, Chile

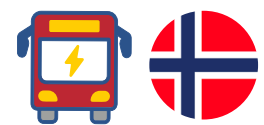


Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Strategi Santiago dalam melakukan elektrifikasi bus adalah dengan mengembangkan strategi untuk elektrifikasi armada bus umum dan bermitra dengan sektor swasta untuk pengadaan massal. Strategi tersebut mencakup proyek-proyek pembangunan dan mendukung penggunaan bus listrik dari dua segi:

- **Daya tarik.** Proyek percontohan awal pada tahun 2011 dan 2013 membuat dua bus beroperasi dengan layanan reguler, dan setelah satu tahun beroperasi, bus tersebut telah menempuh jarak 105.981 km, mengangkut 350.000 penumpang, dan menunjukkan bahwa biaya pengoperasiannya 75% lebih rendah dibandingkan dengan bus diesel. Keandalan yang tinggi dan biaya yang lebih rendah menjadikan bus listrik menarik bagi pemerintah setempat.
- **Aksesibilitas.** Perjanjian kemitraan antara pemerintah Santiago, BYD, dan Enel X ditandatangani pada tahun 2017 dan menghasilkan program pembangunan infrastruktur pengisian daya selama 10 tahun mulai tahun 2019. Hal ini sangat meningkatkan aksesibilitas dalam jangka panjang dengan adanya 100 stasiun pengisian daya yang dibangun hanya dalam waktu 2 tahun. Selain itu, mereka juga menciptakan rute bus listrik pertama di Amerika Latin yang membentang di sepanjang poros transportasi umum utama di Santiago dan mencakup 11% pengguna transportasi umum di kota tersebut.^{4,5}

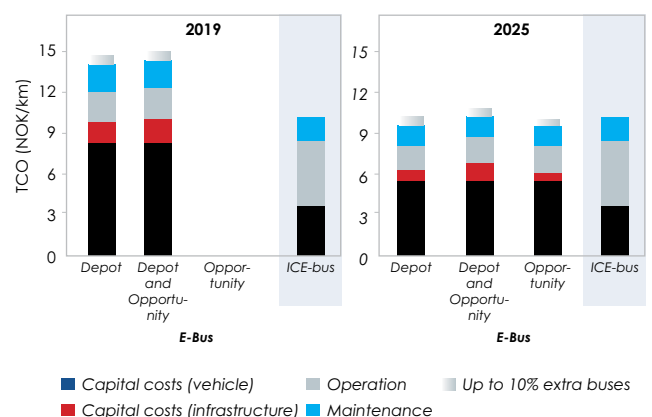
OSLO, PENGADAAN BUS LISTRIK MASSAL NORWEGIA



Konteks

Sektor transportasi dengan emisi tinggi menjadi katalis bagi Norwegia untuk melakukan elektrifikasi penuh pada armada bus umumnya. Sektor transportasi berkontribusi terhadap 25% emisi gas rumah kaca (GRK) di Eropa.¹ Walaupun efisiensi kendaraan terus mengalami peningkatan beberapa tahun terakhir, transportasi belum menunjukkan penurunan emisi secara bertahap seperti yang dicapai di sektor lainnya karena ada peningkatan juga di permintaan transportasi. Dalam upaya untuk mengekang emisi, kontrak pengadaan massal telah memungkinkan Oslo untuk memiliki lebih dari 200 bus listrik, dan kota tersebut berencana untuk melakukan elektrifikasi penuh terhadap 450 bus yang tersisa pada akhir tahun 2023.² Hal ini akan membuat Oslo menjadi kota pertama di dunia yang memiliki sistem transportasi umum yang sepenuhnya menggunakan listrik.³

TCO of e-Buses in 2019 vs 2025



Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Transisi Oslo dapat dikaitkan dengan beberapa intervensi yang memungkinkan ditariknya tuas pendorong/lever dalam hal keterjangkauan dan aksesibilitas:

- **Keterjangkauan.** Pemerintah setempat memutuskan untuk melakukan pengadaan bus listrik secara massal pada akhir tahun 2010 dan hal ini telah memungkinkan terjadinya skala ekonomi, peningkatan efisiensi, serta biaya kepemilikan total (TCO) yang lebih rendah. Biaya operasional bus listrik juga dilaporkan lebih murah, dan kesetaraan harga diperkirakan akan terjadi pada tahun 2025.¹ Hal ini memberikan insentif bagi negara tersebut untuk memperbesar armada bus listriknya.
- **Aksesibilitas.** Program pembangunan infrastruktur pengisian daya nasional Norwegia pada awal tahun 2010-an membuat implementasi bus listrik di Oslo lebih mudah dengan tersedianya akses untuk mengisi daya armada bus listrik barunya.

Sumber (1): [1] Thorne, R. J., et al. (2021). Facilitating adoption of electric buses through policy: Learnings from a trial in Norway. Energy Policy; [2] Winge, L. (2023). Norway gets fully electric public transport system; [3] [5] Klesty, V. (2022). E-bus deal puts Oslo on track for zero-emissions public transport goal. Reuters;

Sumber (2): [1] Bloomberg Business News. (2019, March 5). Air pollution problem in Santiago, Chile, is critical. Los Angeles Times; [2] Eskeland, G.S. (1997). Air Pollution Requires Multipollutant Analysis: The Case of Santiago, Chile; [3] Bnamericas. (2023). Santiago's electric bus fleet exceeds 2,000 units; [4] Galarza, S. 2020. Zero Emission Bus Rapid Deployment Accelerator: From pilots to scale. CMM Chile; [5] BYD. (n.d.). BYD helps to launch latin America's first 100% electric bus corridor

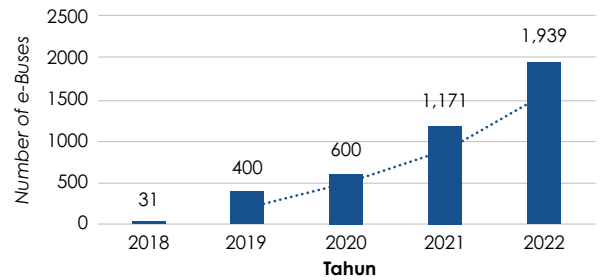
SUBSIDI MOBILITAS ELEKTRONIK NASIONAL INDIA UNTUK OEM BUS LISTRIK



Konteks

Electric buses (E-bus) was seen as a solution to decarbonize the transport sector. Namun, biaya kepemilikan total (*total cost of ownership/TCO*) bus listrik yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan kendaraan sejenis yang berbahan bakar diesel menjadi hambatan finansial yang besar, mengingat pasar India yang sensitif terhadap harga. Aksesibilitas juga menjadi permasalahan, karena pada waktu itu infrastruktur pengisian daya untuk kendaraan listrik (*electric vehicle/EV*) belum tersebar luas. Kini, India telah berhasil mengatasi hambatan-hambatan tersebut dan mempercepat adopsi bus listrik. Penjualan bus listrik mengalami peningkatan sebesar 62 kali antara tahun 2018 hingga 2022.^{1,2} Saat ini, total ada sekitar 4.141 bus, yang merupakan 16% dari total bus di India yang beroperasi, dan pemerintah memperkirakan akan mengerahkan 3.000 bus setiap tahunnya dan 7.090 bus pada tahun 2024.^{3,4}

e-Buses Sales in India



Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Keberhasilan dari penerapan bus listrik dapat dikaitkan dengan program *Faster Adoption and Manufacturing of Electric Vehicles (FAME) India*, yang telah berhasil mengatasi hambatan-hambatan untuk pengadaan bus listrik secara massal. Program tersebut menyediakan insentif keuangan untuk bus listrik dan pembangunan fasilitas pengisian daya untuk mendukung operasinya.

- **Keterjangkauan.** Dalam inisiatif FAME, subsidi hingga US\$242/kWh untuk biaya operasional diberikan kepada operator berdasarkan kontrak biaya kotor. Hal ini membuat TCO/km bus listrik menjadi lebih rendah dibandingkan TCO/km bus diesel.⁵
- **Aksesibilitas.** FAME juga memungkinkan pembangunan infrastruktur pengisian daya di India, dan menghasilkan pemasangan 427 stasiun pengisian daya yang tersebar di seluruh negeri, sebuah pembangunan yang signifikan mengingat terbatasnya jumlah stasiun pengisian daya yang tersedia pada saat itu.⁶

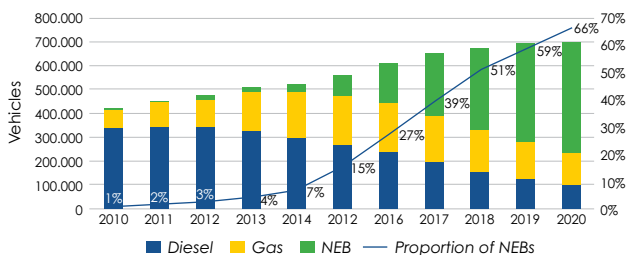
ELEKTRIFIKASI ARMADA BUS UMUM SHENZEN



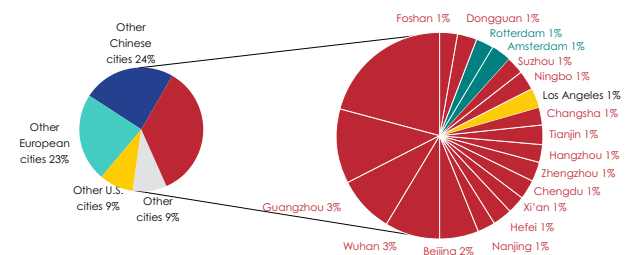
Konteks

Proyek percontohan Shenzhen membawa Cina menjadi yang terdepan di dunia dalam adopsi bus listrik. Kualitas udara merupakan masalah lingkungan utama di Cina pada awal tahun 2000-an. Sebanyak 99% dari 560 juta penduduk perkotaan menghirup udara yang dianggap tidak aman, dan diperkirakan 350.000 – 400.000 penduduk meninggal sebelum waktunya akibat polusi udara.¹ Melihat hal tersebut, Cina menyadari perlunya mengkonversi kendaraan berbahan bakar diesel menjadi bus listrik (e-bus) untuk mengurangi emisi di sektor transportasi. Kota ini menjadi kota pertama di dunia yang memiliki armada bus umum yang semuanya adalah bus listrik pada tahun 2018. Cina memperbesar skala proyek percontohan Shenzhen di tingkat nasional dan sejak itu menjadikannya sebagai yang terdepan di dunia dalam adopsi bus listrik. Pada tahun 2017, Cina memiliki sekitar 99% dari 385.000 bus listrik yang ada di dunia dan menambah sekitar 9.500 bus baru nol-emisi setiap lima minggu.²

Development of New Energy Buses (NEB) Proportion in China, 2010 - 2019



Share of global public EVSE stock in cities by the end of 2021 with a specific focus on the top 20 cities (right)



Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Pertumbuhan eksponensial bus listrik di Shenzhen dapat ditelusuri ke program nol-emisi pemerintah pusat, yang mendukung dekarbonisasi di sektor-sektor dengan emisi tinggi. Shenzhen dipilih untuk berpartisipasi dalam program ini, dan insentif dari program ini mampu membuat biaya kepemilikan total (TCO) bus listrik menjadi lebih rendah dibandingkan TCO bus bermesin pembakaran internal (ICE).³

- **Keterjangkauan.** Pemerintah memberikan dukungan untuk bus listrik dalam bentuk berikut:²
 - Subsidi dari pemerintah pusat yang diberikan langsung kepada *original equipment manufacturer* (OEM) bus sekitar USD 68.000 – 140.000 dengan persyaratan tertentu;
 - Subsidi dari pemerintah provinsi yang mencakup hampir setengah dari total belanja modal (CAPEX) per unit;
- **Aksesibilitas.** Program nol-emisi ini juga mendukung pembangunan fasilitas pengisian daya melalui pembiayaan dan membangun 500 stasiun pengisian daya di Shenzhen, yang mendorong pertumbuhan dan menjadikan kota ini yang pertama dalam hal jumlah stasiun pengisian daya.²

Sumber (1): [1] JMK. (2020). Electric Buses: India Market Analysis; [2] Sustainable Bus. (2023). The e-bus market in India has grown 65% in 2022; [3] Business Insider India. (2023). India needs over 600,000 buses for 25 million commuters daily to follow social distancing norms, according to a study; [4] Rudra, T. (2023). Centre Pushing States To Place Orders For More E-buses To Meet FAME-II Goals. Inc42 Media. [5] WRI India. Ross Center. (2021). Procurement of Electric Buses: Insights from Total Cost of Ownership (TCO) Analysis; [6] India Times. (2023). Explained: What is FAME-India Scheme.

Sumber (2): [1] US-China Institute. (n.d.). Air quality at the 2008 Beijing Olympics; [2] The success of Chinese electric buses. (n.d.). Frotcom; [3] Berlin, A., Zhang, X., Chen, Y. (2020). Case Study: Electric buses in Shenzhen, China; [4] Kahn, J., & Yardley, J. (2007). China - pollution - Environment. The New York Times; [5] Yiyang, C. & Fremery, V. (2022). E-Bus Development in China: From Fleet Electrification to Refined Management; [6] EV Market Reports. (2023). China leads in EV charging infrastructure development

PERCEPATAN PEMANFAATAN TENAGA SURYA DI MALAYSIA KARENA LELANG YANG LEBIH BAIK



Konteks

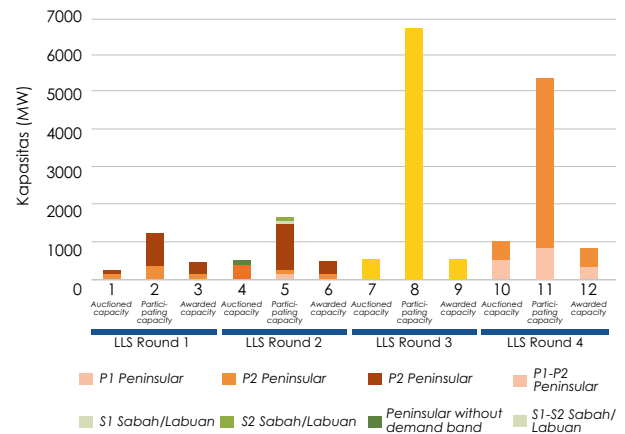
Percepatan pemanfaatan tenaga surya di Malaysia karena lelang yang lebih baik. Pada tahun 2015, sektor energi Malaysia berada di bawah ancaman karena kekurangan ekonomi, ketergantungan pada impor, dan eksternalitas negatif. Konsumsi listrik yang terus meningkat diperhadapkan dengan pasokan yang stagnan, sehingga mengancam ketahanan energi. Ketergantungan yang besar pada impor dan ketidakstabilan pasar bahan bakar global juga menjadi permasalahan, selain tingginya emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil untuk energi.² Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah memerlukan sumber energi alternatif yang dapat memberikan stabilitas pada sektor energi sekaligus mengurangi eksternalitas negatif seperti emisi GRK. Antara tahun 2016 – 2020, Malaysia memperoleh 2,26 GW pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) melalui proses lelang nasional, setara dengan 10 kali kapasitas *variable renewable energy* (VRE) Malaysia pada tahun 2015, dan kini menjadi salah satu negara ASEAN yang terdepan dalam pemanfaatan tenaga surya.^{1,2}

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Lelang skala nasional pertama Malaysia untuk PLTS memampukan negara tersebut untuk menyediakan energi yang stabil dan berkelanjutan, sekaligus mengurangi intensitas emisi. Empat lelang telah diluncurkan sebagai program *Large-Scale Solar* (LSS) pada tahun 2016 dan memungkinkan pengadaan kapasitas tenaga surya yang besar dengan harga yang kompetitif. Program tersebut juga menunjukkan kesiapan pasokan pasar untuk PLTS, karena empat putaran tersebut mengalami kelebihan permintaan dari pengembang, sehingga menyebabkan total volume yang diberikan lebih besar dibandingkan yang awalnya dialokasikan sebesar 0,07 GW.¹

- **Keterjangkauan.** Harga penawaran dari peserta pra-kualifikasi mencapai US\$42,9/MWh, lebih rendah dari *feed-in-tariff* yang ditetapkan secara administratif, sehingga memberikan keuntungan ekonomi bagi Malaysia dan memungkinkan penggunaan tenaga surya ke dalam jaringan listriki.¹

Auctioned participated and awarded capacity in Malaysian LSS



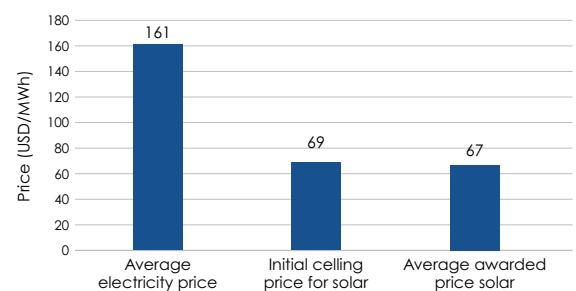
PROGRAM LELANG TAHUNAN FILIPINA MENGHASILKAN PERCEPATAN ADOPSI TENAGA SURYA



Konteks

Filipina mempercepat adopsi tenaga surya melalui lelang yang lebih baik. Ketergantungan yang tinggi terhadap batubara impor membuat Filipina menjadi negara dengan tarif listrik termahal kedua di Asia Tenggara, dengan rata-rata US\$161/MWh.¹ Untuk mengurangi ketergantungan negara pada impor batu bara dan memberikan pilihan biaya yang lebih rendah kepada jaringan listrik, Mahkamah Agung memerintahkan perusahaan distribusi untuk mengontrak listrik dengan menggunakan pendekatan biaya yang paling rendah (*least-cost*) melalui seleksi yang kompetitif. Melalui proses lelang, Filipina berhasil memperoleh kapasitas tenaga surya yang baru terpasang, setara dengan peningkatan *Variable Renewable Energy* (VRE) sebesar 93,5% dari tahun sebelumnya.¹ Dari statistik tahun 2022, kapasitas yang dilelang juga merupakan yang terbesar ketiga di ASEAN, setelah Malaysia dan Myanmar.¹

Comparison of Electricity prices in Philippines



Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Proses lelang diadakan oleh Departemen Energi di bawah program Tarif Energi Hijau (*Green Energy Tariff Programme*/GETP) dan memberikan peluang bagi Filipina untuk mendiversifikasi bauran energinya. Program ini didukung oleh Komite Lelang Energi Hijau (*Green Energy Auction Committee*/GEAC) yang baru dibentuk untuk melaksanakan semua kegiatan utama terkait, dan hasilnya 1,49 GW tenaga surya diperoleh dengan harga yang kompetitif.¹

- **Keterjangkauan.** Kapasitas yang memenangkan lelang memiliki harga rata-rata US\$67/MWh, jauh lebih rendah dibandingkan dengan harga ritel rata-rata listrik di Filipina, dan juga lebih rendah daripada harga tertinggi yang ditetapkan semula, yaitu sebesar US\$69/MWh.¹

Sumber (1): [1] IRENA. (2022). Renewable energy auction: Southeast Asia, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi; [2] Vaka, M., Walvekar, R., Rasheed, A. K., & Khalid, M. (2020). A review on Malaysia's solar energy pathway towards carbon-neutral Malaysia beyond Covid'19 pandemic. *Journal of Cleaner Production*

Sumber (2): [1] IRENA. (2022). Renewable energy auction: Southeast Asia, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

SKEMA FEED-IN-TARIFF VIETNAM MEMUNGKINKAN PERTUMBUHAN EKSPONENSIAL PLTS

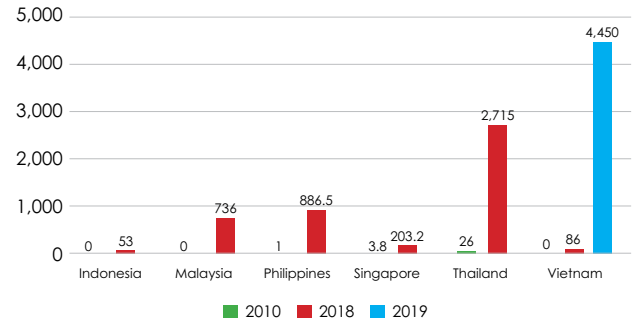


Konteks

Peran utama Vietnam dalam penggunaan tenaga surya di ASEAN.

Komitmen pemerintah Vietnam terhadap ketahanan energi dan dukungan masyarakat yang kuat terhadap energi bersih menjadikan dasar pemikiran tentang pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) populer di negara tersebut. Dengan adanya kemajuan teknologi pada akhir tahun 2010-an dalam hal harga dan ketersediaan teknologi, tenaga surya menjadi menarik bagi Vietnam dan negara ini ingin memanfaatkan transisi energi dengan menjadi penggerak pertama di kawasan ASEAN. Pada tahun 2017, 82 PLTS mulai terhubung dengan jaringan listrik nasional, dan negara memiliki kapasitas tenaga surya sebesar 17,6 GW pada tahun 2021, atau setara dengan 13% dari total pasokan energi.^{1,2} Hal ini berarti bahwa negara ini sedang bergerak untuk mencapai tujuan Rencana Pengembangan Ketenagalistrikan (Power Development Plan (PDP) VIII), yaitu kapasitas tenaga surya sebesar 18,6 GW pada tahun 2030.³

Solar installation progress in ASEAN (2010-2019)



Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

- Faktor pendukung utama yang memungkinkan terjadinya pertumbuhan eksponensial PLTS adalah kebijakan Feed-in-tariff (FIT).** Pemerintah memperkenalkan kebijakan ini pada tahun 2017 dan menawarkan insentif yang besar kepada rumah tangga dan pelaku usaha. Melalui proses ini, tambahan kapasitas PLTS sebesar 4,45 GW ditambahkan ke jaringan listrik dalam waktu satu tahun, yang merupakan pencapaian tertinggi yang pernah ada di kawasan ASEAN.¹ Faktor pendorong utamanya adalah daya tarik dalam hal penetapan harga.
- Daya tarik.** Sebuah Keputusan Pemerintah dikeluarkan pada tahun 2017 dan menawarkan tarif sebesar USD 0,09/kWh kepada pengembang baru tenaga surya.² Tarif tersebut diberikan dengan syarat bahwa proyek harus beroperasi secara komersial sebelum berakhirnya periode FIT pada tahun 2019, sehingga membuat para pengembang bergegas untuk meraup potensi keuntungan. Tarif tersebut membuat proyek PLTS menarik bagi konsumen dan pengembang karena adanya jaminan harga tetap untuk penjualan listrik selama 20 tahun.

DUKUNGAN SUBSIDI DAN KEBIJAKAN UNI EROPA UNTUK MENDORONG PERTUMBUHAN HEAT PUMP INDUSTRI



Konteks

Dorongan Uni Eropa untuk meningkatkan penggunaan heat pump. Volatilitas pasar minyak global telah memaksa Uni Eropa (UE) untuk mengurangi ketergantungannya pada bahan bakar fosil dan mempercepat transisi hijau. Mengingat pemanasan dan pendinginan menyumbang setengah dari penggunaan energi akhir UE, dekarbonisasi sektor ini dipandang penting untuk memenuhi target pengurangan emisi UE. Namun, panas masih dihasilkan dari bahan bakar fosil, dengan total pangsa pemanasan yang bersumber dari bahan bakar fosil diperkirakan sekitar 79%.¹ Heat pump kini menyumbang sekitar 16% dari pemanasan di Eropa dan jumlah ini diperkirakan akan terus meningkat pada tahun-tahun mendatang mengingat kemampuannya dalam mengurangi permintaan energi dan emisi CO₂.^{3,4}

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

- Kebijakan pendukung di seluruh kawasan dan di tingkat nasional mendorong pertumbuhan industri di kawasan ini, dengan beberapa perusahaan mengintegrasikan heat pump ke dalam proses industri mereka.** Fertigungstechnik NORD, perusahaan terdepan dalam pembuatan peralatan mekanis, dan Kilito, sebuah perusahaan Finlandia yang memproduksi bahan kimia, adalah beberapa perusahaan yang mulai mengintegrasikan heat pump ke dalam proses produksi mereka dan telah melaporkan adanya penghematan besar dalam biaya energi.²
- Di tingkat EU: Keterjangkauan.** Uni Eropa telah meluncurkan REPowerEU, rencana tahun 2022 untuk penghematan energi, produksi energi bersih, dan diversifikasi pasokan energi.⁵ Ditambah dengan adanya efisiensi yang lebih tinggi dan biaya kepemilikan total (TCO) yang lebih rendah dibandingkan dengan pemanas gas karena biaya operasional yang lebih rendah, rencana tersebut telah mendukung penggunaan heat pump industri di Eropa.
- Di Finlandia dan Jerman: Keterjangkauan.** Jerman memberikan subsidi melalui program pendanaan federal untuk efisiensi energi dan sumber daya yang dapat menutupi hingga 50% biaya awal heat pump. Finlandia juga menerapkan pemotongan pajak listrik industri, sehingga menciptakan lingkungan keuangan yang menguntungkan bagi heat pump dan mendorong elektrifikasi di sektor ini.^{6,7}

Catatan: *infrastruktur jaringan listrik yang kurang memadai masih menjadi masalah dan mengakibatkan ketidakseimbangan antara pasokan dan keluaran.

Sumber (1): [1] The ASEAN Post. (2020). Vietnam Leading ASEAN's Solar PV Market. [2] Vietnam Briefing. (2023). Feed-in tariffs for solar and wind power projects in Vietnam; [3] EQ International. (2021). Vietnam's Latest Power Development Plan Focuses on Expanding Renewable Notes. [4] D, Kumar. (2021). Southeast Asia's big PV plans – 27 GW by 2025; [5] Innolab Asia. (2022). The Development of Solar Energy in Vietnam – Innovation Lab; [6] Tran, N. (n.d.). Vietnam Solar Power Sector. International Trade Administration; Jiang, W. (2023). 2021 Solar statistics in the country of Vietnam. SolarFeeds Magazine

Sumber (2): [1] Bioenergy International. (2020). Fossil fuels still dominate the European heat and cooling sector; [2] European Heat Pump Association (EHPA). (2020). Large scale heat pumps in Europe Vol. 2: Real examples of heat pump applications in several industrial sectors; [3] European Heat Pump Association (EHPA). (2023). Heat Pumps in Europe: Key Facts and Figures; [4] Zefelippo, A. & Ranghino F. (2023). Electrifying Industrial Heat: A trillion Euro Opportunity Hiding in Plain Sight; [5] European Commission. (2023). REPowerEU. [6] De.fi Group. (2022). Federal funding for energy and resource efficiency in the economy; [7] EU Monitor. (2022). Explanatory Memorandum to COM(2022)219;

INFLATION REDUCTION ACT (IRA) AMERIKA SERIKAT SEBAGAI KATALIS UNTUK ADOPSI HEAT PUMP DI TINGKAT INDUSTRI



Konteks

Heat pump sebagai solusi untuk mencapai dekarbonisasi AS. Proses termal di sektor manufaktur AS menyumbang ~66% dari total permintaan energi akhir industri, dengan 60-70%-nya dipenuhi oleh bahan bakar fosil.¹ Untuk memastikan AS mencapai tujuan perubahan iklimnya, dekarbonisasi panas industri melalui elektrifikasi merupakan hal yang sangat penting, dan heat pump tingkat industri (*Industrial Heat Pump/IHP*) dapat memenuhi hal ini sekaligus meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Jika digunakan secara luas di beberapa sektor sasaran, IHP dapat mengurangi emisi GRK sebesar 30 - 43 juta ton per tahun—setara dengan 3 - 4% dari total emisi karbon nasional.²

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Walaupun memiliki potensi, penggunaan IHP di AS masih terbatas. Beberapa hambatan utama untuk penyebaran IHP secara luas di AS adalah kelayakan ekonomi dari integrasi IHP, kurangnya kesadaran akan teknologi IHP, dan kurangnya pengetahuan tentang integrasi IHP. Untuk mengatasi tantangan ini, Undang-Undang Pengurangan Inflasi (*Inflation Reduction Act/IRA*) AS tahun 2022, sebuah kebijakan nasional untuk mengekang inflasi dan mendukung penggunaan energi hijau, memberikan berbagai dukungan untuk IHP.

- **Keterjangkauan.** Dukungan IRA terhadap IHP meliputi:
 - Kredit pajak manufaktur untuk proyek energi bersih tertentu, seperti IHP, hingga 30% dari biaya pembelian;³ dan
 - Hibah dan pinjaman untuk permohonan IHP pertanian melalui Program Penghematan Energi Pedesaan (*Rural Energy Savings Programme/REAP*), yang mencakup jaminan pinjaman atas pinjaman hingga 75% dari total biaya proyek yang memenuhi syarat dan hibah hingga 50% dari total biaya proyek yang memenuhi syarat.²
- **Daya tarik.** IRA juga menyediakan Kemitraan Bantuan Teknis yang memungkinkan transfer pengetahuan dan berbagi keahlian untuk membantu fasilitas industri memasang dan menerapkan IHP.²

PENGEMBANGAN AMONIA HIJAU YARA UNTUK PELAYARAN



Konteks

- **Peran utama Yara dalam adopsi amonia hijau global.** Kapal pengangkut curah merupakan sumber emisi gas rumah kaca yang cukup signifikan. Mengingat relevansinya dalam emisi GRK, industri ini telah berupaya untuk meningkatkan ambisi iklimnya dan menyelaraskan diri dengan target iklim berbasis ilmu pengetahuan dengan Organisasi Maritim Internasional (IMO), yang bertujuan untuk mengurangi separuh emisi pelayaran pada tahun 2050.¹
- **Perusahaan bahan kimia Norwegia, Yara, yang juga merupakan distributor amonia terbesar di dunia, memimpin upaya ini.** Dalam gelombang adopsi tahap awal ini, Yara mengembangkan inisiatif di sepanjang rantai pasokan untuk membuat dan memasok amonia hijau untuk pelayaran global. Seiring dengan kemajuannya, perusahaan ini akan memiliki posisi yang unik sebagai pengguna awal dan pelopor dalam pasar amonia hijau, yang diperkirakan akan tumbuh sebesar 60% dalam dua dekade mendatang.²

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Untuk memungkinkan penyerapan amonia hijau dalam pelayaran, Yara memfokuskan upayanya pada produksi bahan bakar serta menyiapkan jaringan global untuk penggunaannya, sehingga meningkatkan kondisi pendukung berikut untuk memicu tipping point sektor ini:

- **Aksesibilitas.** Perusahaan ini telah mengumumkan Memorandum of Understanding (MoU) dengan pemasok bahan bakar pelayaran, *Bunker Holding*, untuk mengembangkan amonia untuk digunakan sebagai bahan bakar pelayaran. Mereka telah menandatangani kesepakatan dengan *Azane Fuel Solutions* untuk menyiapkan jaringan yang terdiri dari 15 terminal bunker amonia untuk ditempatkan di seluruh Skandinavia untuk mengisi bahan bakar kapal.^{3,4} *Yara Clean Ammonia* juga telah bekerja sama dengan beberapa perusahaan energi hijau internasional untuk memungkinkan produksi amonia bersih dalam skala global.
- **Daya Tarik.** Insentif finansial juga membantu Yara untuk terus maju, karena perusahaan tersebut sedang menyiapkan produksi di AS untuk mendapatkan manfaat dari kredit pajak hingga USD 85 per ton CO₂ yang disimpan, sesuai dengan *Inflation Reduction Act (IRA)*.⁵

Sumber (3): [1] Zuberi, M. J., et al. (2022). Electrification of U.S. Manufacturing With Industrial Heat Pumps; [2] ACEEE. (2023). New federal funds can help companies invest in industrial heat pumps; [3] Greenbiz. (n.d.) 1 year later: Benefits of the IRA;

Sumber (2): [1] World Economic Forum. (2022). These economies are set to lead shipping's green transition; [2] Yara. (2022). Enabling the hydrogen economy; [3] Yara. (2022). Yara International and Azane Fuel Solutions to launch world's first carbon-free bunkering network, delivering green ammonia fuel to the shipping industry; [3] Reuters. (2022). Yara to set up Scandinavian green ammonia shipping fuel network. Reuters; [5] Donaldson, A. (2023). Yara Clean Ammonia announces MoU for shipping fuel development. Power Technology

PEMBANGUNAN PABRIK AMONIA HIJAU TERBESAR DI DUNIA DI AFRIKA SELATAN



Konteks

Amonia hijau merupakan kunci untuk dekarbonisasi pelayaran. Amonia hijau akan diadopsi lebih lanjut seiring dengan upaya industri pelayaran untuk melakukan dekarbonisasi dan beralih ke sumber energi yang lebih bersih. Bahan bakar alternatif dipandang sebagai komponen penting dalam skenario net zero dan akan berkontribusi sebesar 45% dari permintaan energi global untuk industri pelayaran pada tahun 2050, industri yang menyumbang hampir 3% emisi CO₂ global pada tahun 2018.¹

Afrika bersiap untuk transisi. Negara-negara di Afrika, yang memiliki sumber daya energi terbarukan yang besar, sedang bersiap untuk menarik investasi dalam produksi amonia hijau untuk dipasok di pasar dunia. Dengan jalur perdagangan dan perjanjian yang signifikan secara historis, letak geografis yang strategis, keterampilan lokal berstandar tinggi, dan potensi energi terbarukan yang dimiliki, Afrika Selatan berada pada posisi yang tepat untuk memproduksi dan mengeksport amonia hijau untuk bahan bakar. Afrika Selatan bertujuan untuk menjadi hub amonia hijau untuk pelayaran, dan telah menetapkan target produksi sebesar 500.000 ton/tahun pada tahun 2030 serta memasok 10% pasar amonia hijau global pada tahun 2050.²

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

Sejalan dengan targetnya, Afrika Selatan telah menginisiasi pembangunan pabrik amonia hijau terbesar di dunia. Proyek yang diusulkan akan menjadi faktor pendorong utama untuk meningkatkan aksesibilitas amonia hijau untuk pelayaran.

- **Aksesibilitas (Ketersediaan bahan bakar).** Hive Energy dan Built Africa telah mengumumkan pembangunan pabrik amonia hijau senilai USD 4.6 miliar di Nelson Mandela Bay, Afrika Selatan.³ Pabrik ini, yang juga didukung oleh InvestSA, cabang dari Departemen Perdagangan, Industri, dan Persaingan Afrika Selatan, akan memiliki kapasitas produksi 800.000 ton/tahun.^{4,5} Pabrik tersebut direncanakan akan mulai beroperasi penuh pada akhir tahun 2026 dan akan menciptakan 20.000 lapangan kerja selama proyek berjalan. Mengingat skala proyek HIVE dan letak geografisnya yang strategis, pabrik tersebut akan memainkan peran penting dalam penggunaan amonia hijau karena kapal-kapal yang transit di rute laut Eropa-Asia akan dapat mengisi kapal mereka dengan bahan bakar alternatif tersebut.³

TERMINAL BELANDA SEBAGAI KATALIS BAGI ADOPSI AMONIA HIJAU DALAM INDUSTRI PELAYARAN



Konteks

- **Pertumbuhan amonia hijau di Eropa.** Pasar amonia hijau di Eropa diperkirakan akan tumbuh pesat dengan UE menargetkan produksi 10 juta ton hidrogen terbarukan pada tahun 2030.¹ Produk ini memainkan peran penting dalam dekarbonisasi di kawasan serta industri pelayaran, yang akan digunakan oleh sektor ini dalam upayanya mengurangi emisi GRK. Mengingat pentingnya hal ini dalam rencana UE dan industri pelayaran, pelabuhan-pelabuhan di Eropa bersiap untuk menjadi hub untuk bahan bakar berkelanjutan.
- **Pelabuhan Rotterdam, kunci dalam rencana transisi kawasan.** Pelabuhan ini, yang merupakan pelabuhan terbesar di Eropa, dan terbesar di dunia di luar Asia timur, sedang mempersiapkan penggunaan amonia hijau untuk pelayaran dan keperluan industri. Pelabuhan tersebut akan menjadi bagian dari Koridor Delta yang diusulkan, yang menghubungkan pasokan hidrogen hijau ke pabrik-pabrik industri di Jerman dan direncanakan untuk menampung kapal-kapal dengan bahan bakar berkelanjutan, sehingga menempatkan pelabuhan tersebut sebagai bagian strategis dalam adopsi amonia hijau di masa depan.² Pelabuhan ini juga berencana untuk membangun terminal impor amonia hijau terbesar di kawasan ini, yang diberi nama Terminal ACE.

Faktor Pendorong untuk Memicu Tipping Point

- **Terminal ACE akan memainkan peran penting dalam meningkatkan aksesibilitas amonia hijau di kawasan ini, yang selanjutnya akan mendorong penggunaan bahan bakar tersebut untuk industri pelayaran.** Faktor pendorong dari proyek ini adalah:
- **Aksesibilitas (Infrastruktur).** Terminal ACE, yang dibangun oleh Gasunie, HES International, dan Vopak, ditargetkan untuk beroperasi pada awal tahun 2026.³ Beberapa kemajuan penting telah dibuat hingga tahun 2023. Pelabuhan tersebut telah menandatangani kesepakatan pasokan dengan Cepsa dan Hyphen, didirikan sebagai bagian dari koridor maritim hidrogen hijau pertama, dan telah diakui sebagai hal penting dalam proyek Koridor Delta UE yang diusulkan.^{4,5} Ketika sudah mulai beroperasi, Terminal ACE diproyeksikan akan mengimpor 4.6 juta ton amonia hijau pada tahun 2030.⁶

Sumber: [1] Prisco, J. (2023). \$4.6 billion plant in South Africa will make 'the fuel of the future'; [2] Boucetta, M. (2023). The Green Hydrogen Market: The Industrial Equation of the Energy Transition; [3] Hive Energy. (2023). Hive Green Ammonia - Hive Energy. [4] Rai-Roche, S. (2022). World's largest green ammonia plant¹ planned for South Africa, set to go live in 2025. PV Tech; [5] RenewAfrica.Biz. (2022). Hive Hydrogen to set up a \$4.6bn Green Ammonia Plant in South Africa. Renew Africa. [6] Redactoramexico. (2021). Hive Hydrogen, Built Africa, and Linde teamed up to establish a green ammonia export plant in Nelson Mandela Bay. Hydrogen Central

Sumber: [1] European Commission. (2023). Energy Systems Integration. [2] Hydrogen Insight. (2023). Cepsa launches €1bn Spanish green ammonia plant, eyes exports to Port of Rotterdam this decade; [3] Gasunie. (2023). ACE Terminal; [4] Ship & Bunker. (n.d.). CEPSA strikes green ammonia supply deal in Rotterdam; [5] Petrova, V. (n.d.). Hyphen agrees European green ammonia imports via Port of Rotterdam. [6] Njovu, G. (n.d.). Port of Rotterdam – Ammonia Energy Association; [7] Port of Rotterdam. (n.d.). OCI expands import terminal for (green) ammonia; [8] Team, P. T. (2022). Port of Rotterdam to establish green ammonia import terminal. Port Technology International; [9] Yara International. (2023). Yara Clean Ammonia and Cepsa seal an alliance to connect southern and northern Europe with clean hydrogen

LAMPIRAN B: LAMPIRAN TEKNIS MENGENAI ANALISIS *TIPPING POINT*

1. Sektor ketenagalistrikan: PLTS & baterai vs pembangkit listrik berbahan bakar fosil

Di sektor ketenagalistrikan, biaya listrik yang dirata-ratakan atau **levelized cost of electricity (LCOE)** dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) skala utilitas, baik yang berdiri sendiri maupun yang ditambah dengan baterai untuk penyimpanan energi, dibandingkan dengan pembangkit tenaga uap berbahan bakar batu bara (PLTU) dan pembangkit listrik tenaga gas dan uap berbahan bakar gas (PLTGU).

LCOE adalah perhitungan tekno-ekonomi yang menghitung biaya rata-rata pembangkitan listrik dari pembangkit listrik selama masa pakainya. LCOE biasanya juga digunakan untuk menggambarkan pendapatan rata-rata per unit listrik yang diperlukan untuk mengembalikan investasi, guna memenuhi laju pengembalian investasi tertentu (*hurdle rate*).

Perhitungan LCOE biasanya mencakup biaya teknologi utama (misalnya belanja modal (*Capital Expenditure/CAPEX*), belanja operasional (*Operational Expenditure/OPEX*) seperti biaya operasi & pemeliharaan (O&M) tetap (*fixed*) dan variabel, dan biaya bahan bakar), parameter kinerja teknologi (misalnya efisiensi, faktor kapasitas (*capacity factor*), dan asumsi pembiayaan (misalnya, biaya modal (*cost of capital*), tingkat diskonto, dan *hurdle rate* IRR).

Studi ini menggunakan **NREL's 2021 Annual Technology Baseline (ATB) workbook** (<https://atb.nrel.gov/>) untuk menghitung LCOE PLTS dan PLTS + baterai, seperti yang telah digunakan dalam laporan "*Breakthrough Effect*" global. Untuk LCOE PLTU dan PLTGU, karena *tool* ATB dari NREL tidak mencakup perhitungan LCOE dari teknologi berbahan bakar fosil, maka digunakan *tool* perhitungan lain, yaitu Kalkulator LCOE yang dikembangkan oleh IESR (**IESR's 2023 LCOE Calculator**, diakses dari <https://energycost.id/>). Untuk menghasilkan analisis yang relevan di tingkat ASEAN, asumsi-asumsi utama diambil dari institusi yang bekerja di kawasan (misalnya, ASEAN Centre for Energy, IRENA, IEA, dll.).

Asumsi-asumsi utama

Pengelompokan negara-negara ASEAN dilakukan untuk menunjukkan perbedaan di tingkat regional antara negara-negara dengan lingkungan kebijakan pendukung yang lebih kuat dan negara-negara dengan lingkungan kebijakan pendukung yang lebih lemah. Pengelompokan tersebut, beserta asumsi-asumsinya, dirangkum sebagai berikut:

- Kelompok 1: Vietnam, Thailand, Malaysia, Filipina
- Kelompok 2: Kamboja, Indonesia, Myanmar, Laos

Tabel A-1. Asumsi utama untuk LCOE PLTS dan PLTS + baterai

Country Group	CAPEX PLTS ^a (\$/kWdc)		CAPEX baterai ^b (\$/kWh)		Fixed O&M ^c (%CAPEX/tahun)		Biayas modal ^d (%)		Capacity factor ^e (%)		Capital recovery factor (Tahun)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kelompok 1	760	870	300	330	1 (2)	1 (2)	5 (7)	8	19	16		
Kelompok 2	800	940	315	356	1 (2)	1 (2)	6 (7)	10	18	16		20

Catatan: LCOE untuk PLTS + baterai mengacu pada sistem PLTS pelacakan sumbu tunggal dengan kapasitas 130 MWp dan sistem penyimpanan baterai lithium-ion berdurasi 4 jam dengan kapasitas 50 MWac. Nilai di dalam tanda kurung adalah nilai untuk PLTS + baterai.

Sumber: a) IRENA & ACE (2022), ASEAN RE Outlook, b) BloombergNEF (2023), Top 10 Energy Storage Trends in 2023, dengan penyesuaian untuk ASEAN sebesar +10% untuk negara-negara di Kelompok 1 dan +15% untuk negara-negara di Kelompok 2. c) IESR (2023), *Making Energy Transition Succeed: A 2023's Update on The Levelized Cost of Electricity and Levelized Cost of Storage in Indonesia*, d) IEA & Imperial College London (2023), *ASEAN Renewables: Opportunities and Challenges*, e) Sama dengan sumber "a".

Table A-2. Key assumptions for coal and gas power plants' LCOE

Country Group	CAPEX ^a (\$/kW)		Fixed O&M ^a (%CAPEX/ year)	Var O&M ^a (\$/MWh)	Capacity factor ^a (%)		Efisiensi Bahan Bakar ^a (%)		Biaya bahan bakar ^a (\$/ton or \$/MMBtu)		Masa pakai ^a (tahun)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
PLTU	1140	1520	3,7	0,11	74	70	45	42	150 (70)	200 (90)		30
PLTGU	650	1000	3,4	0,23	50	35	61	56	10 (6)	13 (8)		25-30

Catatan: PLTU adalah pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara dengan boiler *ultra-supercritical*, PLTGU adalah pembangkit listrik dengan siklus gabungan gas dan uap. **LCOE untuk Kelompok 1 dan Kelompok 2** menggunakan biaya dan parameter teknis yang sama, diambil dari data teknologi untuk sektor ketenagalistikan Indonesia yang dikembangkan oleh Danish Energy Agency, kecuali untuk biaya bahan bakar. Berhubung tidak ada pembatasan harga domestik untuk energi primer di negara-negara ASEAN lainnya, maka digunakan harga pasar tahun 2022. Nilai biaya bahan bakar yang ada di dalam tanda kurung adalah batasan harga domestik untuk energi primer di Indonesia (\$70/ton untuk batu bara dan \$6/MMBtu untuk gas alam). Kapasitas pembangkit listrik diasumsikan sebesar 1.000 MW untuk PLTU dan 600 MW untuk PLTGU. *Default* biaya modal rata-rata tertimbang sebesar 10% digunakan dalam perhitungan.

Sumber: a) IESR (2023), Making Energy Transition Succeed: A 2023's Update on The Levelized Cost of Electricity and Levelized Cost of Storage in Indonesia.

Asumsi-asumsi untuk lever

Lever (pengungkit atau faktor pendorong), baik itu melalui lever kebijakan maupun pasar, untuk menunjukkan bagaimana tipping point dapat dipicu lebih cepat, dipertimbangkan di dalam analisis ini. Hal ini diwujudkan melalui disinsentif bagi pembangkit listrik tenaga batu bara/gas atau insentif untuk penggunaan PLTS dan baterai. Tabel A-3 menampilkan ringkasan dari semua asumsi yang digunakan dalam analisis.

Table A-3. Key assumptions for levers

Levers	Kelompok 1	Kelompok 2	kelompok 2 (Indonesia)
I. PLTU dan PLTGU			
Fluktuasi harga batu bara	\$150-200/tonne		N/A
Fluktuasi harga gas	\$10-13/MMBtu		\$9-10/MMBtu
Pajak karbon	Harga karbon \$2-5/MtCO ₂ e		
Pengendalian polusi udara yang lebih ketat (untuk batu bara)	N/A	N/A	Retrofit untuk best available technology ^a Capex: \$148/kW O&M: \$1,98/MWh
II. PLTS & PLTS+Baterai			
Dukungan lahan	Pengurangan Capex sebesar 5-10%	Pengurangan Capex sebesar 8-15%	
Aturan pasar yang lebih baik ^b	Pengurangan WACC: 5-6,5%	Pengurangan WACC: 6-8%	
Pendapatan karbon	N/A	Harga karbon x emisi yang dihindari Harga karbon terkait pengentian batu bara: \$10-15/tCO ₂ e Emisi yang dihindari: emisi PLTU (0,9-1,1tCO ₂ e/MWh) – emisi jaringan listrik untuk menutupi hilangnya listrik yang didistribusikan (0,3-0,8tCO ₂ /MWh)	
Learning rate dari harga baterai	5-10% pengurangan Capex	N/A	

Catatan: a) CREA & IESR (2023), Health Benefits of Just Energy Transition and Coal Phase-out in Indonesia. b) IEA & Imperial College London (2023), ASEAN Renewables: Opportunities and Challenges

Disinsentif untuk bahan bakar fosil:

- **Fluktuasi harga batu bara/gas:** Fluktuasi harga pasar batu bara atau gas dapat secara langsung memberikan dampak ekonomi yang lebih baik bagi PLTS karena hal tersebut meningkatkan biaya operasional pembangunan (atau bahkan pengoperasian) pembangkit listrik tenaga batu bara atau gas. Di negara-negara yang tidak memiliki kebijakan protektif (misalnya pembatasan harga dalam negeri), lever ini mungkin dipandang sebagai kondisi pasar, bukan hanya sekedar lever.
- **Pajak karbon:** Penerapan pajak karbon dapat meningkatkan biaya pengoperasian pembangkit listrik tenaga batu bara/gas. Meskipun belum diberlakukan di banyak negara ASEAN (kecuali Singapura dan Indonesia), hal ini diperkirakan akan diterapkan oleh negara-negara ASEAN lainnya.
- **Pengendalian polusi udara (*air pollution control/APC*) yang lebih ketat:** Peraturan yang lebih ketat terkait emisi mungkin akan mengharuskan operator untuk melakukan *retrofit* terhadap pembangkit listrik, sehingga akan menyebabkan biaya pembangkitan listrik menjadi lebih tinggi.

Insentif untuk PLTS dan baterai:

- **Dukungan lahan:** Dukungan pemerintah untuk pengembangan lokasi dan pembebasan lahan dapat mengurangi biaya dan ketidakpastian, sehingga akan mengurangi risiko pasar secara keseluruhan.
- **Aturan pasar yang lebih baik:** Regulasi yang jelas dan mekanisme lelang yang memberikan stabilitas pasar dan jaminan peningkatan permintaan dapat mengurangi risiko pasar yang terkait dengan pengembangan proyek PLTS dan PLTS + baterai, sehingga menghasilkan suku bunga yang lebih rendah dan juga biaya modal yang lebih rendah.
- **Pendapatan karbon:** Pendapatan tambahan dari pengurangan karbon yang terkait dengan penghentian penggunaan batu bara dan pembangunan VRE dapat meningkatkan keekonomian proyek PLTS.
- **Pengurangan capex baterai:** Menurunnya capex baterai dari kurva pembelajaran baterai dapat lebih lanjut menurunkan LCOE PLTS + baterai

2. Transportasi jalan raya: Kendaraan roda dua listrik

Di sektor transportasi kendaraan roda dua, biaya kepemilikan total (***total cost of ownership/TCO***) dari kendaraan roda dua listrik (*electric two-wheeler/E2W*) dibandingkan dengan TCO dari kendaraan roda dua dengan mesin pembakaran internal (*internal combustion engine/ICE 2W*) dibandingkan.

TCO adalah perkiraan finansial untuk kepemilikan kendaraan 2W selama periode tertentu (dalam tahun) atau berdasarkan jarak tempuh (dalam kilometer). TCO biasanya terdiri dari biaya awal (*upfront cost*), biaya operasional (*operating cost*, misalnya biaya bahan bakar dan pemeliharaan), dan biaya pembiayaan (*financing cost*, seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut).

$$TCO = \text{Upfront cost} + \text{Operating cost} + \text{Financing cost}$$

Di mana *upfront cost* meliputi harga dasar/harga unit kendaraan baru, PPN, biaya registrasi, biaya plat nomor kendaraan, biaya asuransi, dan biaya penggantian baterai; *operating cost* mencakup konsumsi bahan bakar dan biaya pengoperasian & pemeliharaan; dan *cost of financing* adalah jumlah pinjaman.

Asumsi-asumsi utama

TCO dari ICE 2W dan E2W dihitung untuk durasi waktu lima tahun dengan asumsi-asumsi biaya utama yang dijabarkan dalam Tabel A-4 di bawah ini:

Tabel A-4. Parameter biaya utama untuk TCO dari ICE 2W dan E2W

ICE Motorcycle TCO

Cost components (USD)	Brunei	Cambodia	Indonesia	Laos	Malaysia	Myanmar	Philippines	Thailand	Vietnam	ASEAN Average
Upfront cost	804	1,171	1,081	1,218	1,084	964	1,108	536	867	992
Sticker price	750	1,000	871	1,014	880	816	900	435	700	818
VAT & other fees	54	171	210	204	204	148	208	101	167	174
VAT	-	100	96	71	88	41	90	44	75	67
Registration fee	40	53	47	54	47	44	48	23	37	44
License plate fee			52	61	53	49	54	26	42	48
Insurance fee	14	18	16	18	16	15	16	8	13	15
Operations cost (5 years)	618	2,245	1,625	2,482	933	2,073	2,137	2,288	1,833	1,804
Fuel consumption	450	2,020	1,429	2,253	735	1,889	1,934	2,190	1,675	1,620
Maintenance cost	169	225	196	228	198	184	203	98	158	184
Financing cost	150	200	174	203	176	163	180	87	140	164
TCO	1,572	3,617	2,880	3,903	2,193	3,200	3,425	2,911	2,839	2,949

Li-ion electric two-wheelers

Cost components (USD)	Brunei	Cambodia	Indonesia	Laos	Malaysia	Myanmar	Philippines	Thailand	Vietnam	ASEAN Average
Upfront cost	1,646	1,790	1,509	1,747	1,402	1,718	1,646	1,618	2,189	1,525
Sticker price	1,438	1,438	1,307	1,438	1,225	1,438	1,438	1,389	1,875	1,250
VAT & other fees	208	352	202	309	177	280	208	229	314	275
VAT	-	144	13	101	-	72	-	28	208	68
Registration fee	58	58	52	58	49	58	58	56	11	55
License plate fee	64	64	59	64	55	64	64	62	84	70
Insurance fee	86	86	78	86	73	86	86	83	12	82
Operations cost (5 years)	407	792	437	280	517	271	937	446	545	550
Fuel consumption	263	648	307	136	394	127	793	307	482	411
Maintenance cost	144	144	131	144	122	144	144	139	63	139
Cost of financing	581	581	528	581	495	581	581	561	757	675
TCO	2,634	3,163	2,474	2,608	2,413	2,570	3,164	2,625	3,492	2,750

Sumber: Dari berbagai sumber, analisis Systemiq. Catatan: Singapura tidak dimasukkan dalam analisis karena rendahnya adopsi 2W di Negara tersebut.

Notes: Singapore is excluded due to the low adoption of 2Ws.

Untuk konsumsi bahan bakar, digunakan asumsi-asumsi berikut ini:

Tabel A-5. Asumsi-asumsi untuk konsumsi bahan bakar

ICE 2W – konsumsi bahan bakar		
Kapasitas tanki bahan bakar	13.5	L
# isi ulang bahan bakar (full tank) per bulan	2	kali/bulan
# tahun	5	Tahun
Konsumsi bahan bakar per tahun	324	L
E2W – konsumsi listrik		
Jarak tempuh per hari	40	km
Jarak tempuh per tahun	14.600	km
Efisiensi	0,06	kWh/km
Listrik yang diperlukan per tahun	876	kWh

Sumber: Analisis Systemiq

Tabel A-6. Harga bahan bakar dan tarif listrik di negara-negara ASEAN

Negara	Harga Bahan Bakar (USD/L)	Tarif listrik (USD/kWh)
Vietnam	1,03	0,11
Indonesia	0,88	0,07
Thailand	1,35	0,07
Filipina	1,19	0,18
Malaysia	0,45	0,09
Brunei	0,28	0,06
Kamboja	1,25	0,15
Laos	1,39	0,03
Myanmar	1,17	0,03
Singapura	2,05	0,24
Rata-rata ASEAN	1,105	0,103

Sumber: Global Petrol Prices, Analisis Systemiq

Asumsi-asumsi untuk lever

Lever untuk memicu *tipping point* kedua dari E2W (yaitu kesetaraan harga unit kendaraan baru) adalah sebagai berikut:

- **Pengurangan biaya baterai (*learning rate* sebesar 15-17%):** Pengurangan capex baterai yang diperoleh dari kurva pembelajaran baterai akan menurunkan harga unit E2W baru.
- **Subsidi (5-10%):** Kebijakan pemberian subsidi, baik itu untuk pembelian E2W atau subsidi langsung kepada *Original Equipment Manufacturer (OEM)* akan berdampak secara langsung pada harga unit kendaraan baru.
- **Pengurangan PPN (-5%):** Kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi PPN dari E2W juga dapat menurunkan harga unit kendaraan baru.

3. Transportasi jalan raya: Bus listrik

Di sektor transportasi umum jalan raya, biaya kepemilikan total (***total cost of ownership/TCO***) dari bus listrik (*e-bus*) dibandingkan dengan TCO bus bermesin pembakaran internal (diesel) atau ICE bus. Namun, dalam hal ini digunakan TCO dengan basis per jarak yang ditempuh (\$/km), bukan biaya murni TCO (\$) seperti yang digunakan dalam perhitungan kendaraan roda dua, sehingga perhitungannya akan mengikuti persamaan berikut:

$$TCO\ per\ km = \frac{Ann.\ total\ cost\ of\ vehicle\ (Upfront+Operating +Financing\ costs)}{Annual\ distance\ traveled\ (km)}$$

Di mana *annualized total cost of vehicle* (biaya total kendaraan yang disetahunkan) adalah total dari *upfront cost*, *operating cost*, dan *financing cost* selama masa pakai yang diasumsikan. *Upfront cost* mencakup harga kendaraan/harga unit baru dan biaya pengisi daya (dalam kasus *e-bus*). *Operating cost* meliputi konsumsi bahan bakar dan biaya pengoperasian dan pemeliharaan (*operations & maintenance (O&M) cost*), sedangkan *financing cost* merupakan biaya dari pembiayaan (jumlah pinjaman).

Asumsi-asumsi utama

Asumsi-asumsi biaya utama untuk TCO bus adalah sebagai berikut:

1) Asumsi operasional

Tabel A-7. Asumsi operasional untuk perhitungan TCO bus

Asumsi operasional	Nilai
Umum	
Tahun beroperasi	12
Jarak tempuh per tahun (km)	60.000
ICE bus	
Keekonomian bahan bakar (km/L)	3
Harga bahan bakar per liter	1,32
E-bus	
Keekonomian bahan bakar (kWh/km)	1,1
Tarif listrik (\$/kWh)	0,10

2) Asumsi pengisian daya

Tabel A-8. Asumsi pengisian daya untuk perhitungan TCO bus listrik

Tipe pengisian daya	Harga/unit (\$)	Rasio pengisian daya kendaraan	Harga (\$)
Depot	75.000	2	37.500
Route	100.000	4	25.000
	Total		62.500

3) Asumsi financing cost

Tabel A-9. Asumsi financing cost

Tipe bus	Financing cost
ICE bus (diesel)	6% harga kendaraan
Bus listrik	24% harga kendaraan

Hasil Perhitungan TCO

Tabel A-10. Variable biaya yang dihasilkan untuk TCO ICE bus dan e-bus

Variabel biaya	ICE bus	E-bus
<i>Upfront cost (\$)</i>	120.600	350.000
Harga kendaraan (\$)	120.600	287.500
Charger cost (\$)	N/A	62.500
<i>Financing cost (\$)</i>	7.236	84.495
Biaya kendaraan total (\$)	127.836	434.495
<i>Annualized total cost of vehicle (\$)</i>	10.653	36.208
Biaya bahan bakar per tahun (\$)	26.400	6.600
O&M cost (\$)	15.000	12.000
Annualized TCO (\$)	52.053	54.808
TCO per km (\$/km)	0,87	0,91

Catatan: *Annualized total cost of vehicle* adalah biaya kendaraan total dibagi dengan total masa operasi (12 tahun). TCO per km adalah Annualized TCO, yang merupakan total dari *annualized total cost of vehicle*, biaya bahan bakar, dan O&M cost, dibagi dengan total jarak tempuh per tahun (60.000 km).

Asumsi-asumsi untuk lever

Lever untuk mengurangi harga unit e-bus baru juga dipertimbangkan di dalam analisis ini.

- **Pengurangan biaya baterai:** Penurunan biaya baterai yang diperoleh dari kurva pembelajaran baterai dapat menurunkan harga unit e-bus baru. Dalam skenario dasar, baterai menyumbang 50% dari harga unit bus listrik baru. Dengan mengasumsikan *learning rate* baterai sebesar 15%, rentang pengurangan biaya baterai diasumsikan sebagai berikut:

Tabel A-11. Asumsi untuk pengurangan biaya baterai

Pengurangan biaya baterai	Nilai
Harga paket baterai (\$/kWh)	289
Kapasitas baterai (kWh)	300
Harga baterai per bus (\$)	86,657
% harga baterai terhadap <i>upfront cost</i>	25%
Rentang min-maks	0,8-1,25

Catatan: Harga paket baterai mengacu pada nomor paket baterai e-bus untuk Uni Eropa tahun 2020 dari BloombergNEF. Rentang min-maks adalah rentang harga minimum-maksimum (80-125%) dari baterai baru per bus (asumsi menggunakan bus listrik 300 kWh).

- **Lever kebijakan (subsidi):** kebijakan yang memberikan subsidi untuk pembelian e-bus atau langsung ke OEM akan berdampak langsung pada harga unit kendaraan baru, sehingga menurunkan TCO. Pengurangan harga unit kendaraan baru secara konservatif sebesar 5-6,25% diterapkan pada lever ini.
- **Pengurangan financing cost:** Seiring dengan pertumbuhan pasar, diperkirakan akan semakin banyak lembaga pembiayaan yang akan memberikan opsi pembiayaan yang lebih murah dan berjangka panjang untuk pengadaan e-bus. Asumsi utama yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table A-12. Reduced financing cost assumptions

Variabel	Skenario dasar	Min	Maks
Harga unit kendaraan baru (\$)	350.000	350.000	350.000
% yang dibiayai oleh pinjaman	50%	50%	50%
Suku bunga	12%	8%	5%
Tenor (bulan)	84	96	120
% <i>financing cost</i> terhadap harga unit kendaraan baru, hasil perhitungan	24%	17.8%	13.6%

4. Pemanasan dalam Industri

Di sektor pemanasan dalam industri, biaya pemanasan yang dirata-ratakan, atau **levelized cost of heat** (LCOH) dari *heat pump* (pompa kalor) industri dan *electro-thermal energy storage* (ETES) dibandingkan dengan *steam boiler gas* dan batu bara.

Seperti *levelized cost* yang lain, LCOH adalah ukuran rata-rata biaya satuan pemanasan. Input dari LCOH adalah biaya teknologi (CAPEX), *fixed O&M* (OPEX), dan biaya bahan bakar (harga gas/batu bara atau tarif listrik untuk kasus *heat pump* dan ETES). LCOH dinyatakan dengan satuan \$/MWh-th, yaitu satu unit biaya (dalam dolar) untuk menghasilkan satu unit energi termal (panas).

LCOH dari *steam boiler batu bara/gas*, *heat pump*, dan ETES dihitung menggunakan kalkulator biaya transformasi Power-2-Heat yang dikembangkan oleh Agora Industry, FutureCamp, dan Wuppertal Institute, yang dapat diakses melalui tautan berikut: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/transformationskostenrechner-power-2-heat/>.

Asumsi-asumsi utama

LCOH untuk *steam boiler gas/batu bara*, *heat pump*, dan ETES dihitung menggunakan asumsi-asumsi utama yang ada dalam Tabel A-13 di bawah ini:

Tabel A-13. Asumsi utama untuk perhitungan LCOH

Teknologi	CAPEX (\$/kW)		Fixed O&M (\$/MWh-th)		OPEX – Biaya bahan bakar		OPEX – biaya bahan bakar	
	Min	Maks	Min	Maks	Harga batu bara/gas (\$/ton atau \$/MMBtu)	Tarif listrik-ekuivalen (\$/MWh)	Min	Maks
<i>Steam boiler batu bara</i>	-	-	1,6	3,3	70	100	9,5	13,6
<i>Steam boiler gas</i>	225	250	1,6	3,3	8	12	27	40
<i>Heat pumps</i>	765	957	1,6	2,5	-	-	110	130
ETES	525	700	3	5	-	-	50	73

Catatan: MWh-th (megawatt-hour thermal) adalah satuan energi untuk memproduksi satu unit panas (energi termal). Kebutuhan spesifik *steam boiler gas* alam untuk menghasilkan satu unit panas adalah 1,05 MWh/MWh-th (efisiensi 95%) dan 1,12 MWh/MWh-th untuk *steam boiler batu bara* (efisiensi 89%).

Asumsi CAPEX ETES diambil dari laporan Energy Innovation tahun 2023 yang berjudul "Industrial Thermal Batteries". Dimana terdapat tiga komponen biaya utama untuk ETES: peralatan input elektrikal, peralatan penghantar panas, dan media/material penyimpanan termal. Asumsi tiap komponen diasumsikan sebagai, masing-masing, \$100/kW-in, \$300/kW-out, dan \$5/kWh – angka-angka ini diambil dari laporan tersebut.

Konfigurasi ETES diasumsikan sebagai tipe off-grid, generation-following (dengan hanya menggunakan PLTS) – berbeda dengan konfigurasi price-hunting dalam sistem terhubung ke jaringan (grid-connected) khususnya pada pasar ketenagalistrikan yang terliberalisasi. Diasumsikan bahwa ETES harus menyediakan panas selama 24 jam/7 hari. Untuk memenuhi kebutuhan pemanasan selama 24 jam, misalnya 1 kW-out, diasumsikan bahwa diperlukan setidaknya tiga kali (3x) lipat kapasitas input listrik (kW-in) untuk memenuhi kebutuhan pemanasan langsung selama 6-8 jam (ketika PLTS menghasilkan listrik) dan untuk mengisi daya penyimpanan termal yang cukup untuk memenuhi sisa kebutuhan pemanasan selama 16-18 jam yang tidak tercakup oleh PLTS secara langsung (ketika matahari terbenam). Kapasitas penyimpanan termal diukur sesuai dengan kebutuhan untuk memenuhi permintaan pemanasan 16-18 jam yang tidak tercakup oleh PLTS secara langsung. Perlu dicatat bahwa optimisasi melalui pemodelan yang lebih mendetil tentu saja mungkin dilakukan namun tidak dilakukan di studi ini demi kesederhanaan dalam memberikan gambaran akan nilai LCOH secara high-level untuk ETES.

Asumsi untuk lever

Steam boiler batu bara/gas alam

- **Fluktuasi harga gas alam:** Fluktuasi harga gas alam, mengingat ketidakstabilan pasar, mungkin menambah biaya operasional tambahan untuk pemanasan. Fluktuasi harga sebesar 1,5-2,25 kali dari harga minimum (\$6/MMBtu) digunakan dalam perhitungan (\$12-18/MMBtu) untuk menggambarkan fluktuasi tersebut. Pada tahun 2022, fluktuasi dari pasar spot LNG melampaui \$20/MMBtu.¹

¹IEEFA (2022). Global LNG Outlook 2023-2027.

- **Pajak karbon:** Penerapan pajak karbon dapat menyebabkan biaya CO₂ yang lebih tinggi untuk *steam boiler* gas alam. Tunjangan emisi karbon yang agak konservatif, yaitu sebesar \$10-25/harga EUA (karena alat ini dibuat untuk konteks UE), diterapkan untuk mencerminkan dampak pajak karbon sebesar \$1-5/MWh terhadap LCOH.

Heat Pump

- **Pengurangan CAPEX:** Pengurangan CAPEX sebesar 5-10% diterapkan untuk CAPEX dari heat pump. Hal ini diasumsikan dihasilkan dari kurva pembelajaran instalasi heat pump pada akhir decade.²
- **Harga listrik (dalam jaringan) yang lebih murah:** Tersedianya listrik (dalam jaringan) dengan harga yang lebih murah dapat menurunkan LCOH heat pump lebih lanjut. Dalam perhitungan ini, pengurangan sebesar 20-40% dari harga dasar (\$110/MWh), yang merupakan tarif listrik rata-rata di ASEAN, diterapkan. Dasar dari asumsi ini adalah bahwa di beberapa negara ASEAN, harga listrik untuk industri jauh lebih rendah dari \$110/MWh (misalnya \$70/MWh dan \$63/MWh untuk kelompok tegangan menengah dan tinggi di Indonesia). Dalam kasus lain, terkadang listrik tersebut juga bersumber dari PLTA *captive* yang dikhususkan.
- **Peningkatan koefisien kinerja (coefficient of performance/COP) dari heat pump:** Peningkatan koefisien kinerja, atau efisiensi heat pump, dapat lebih lanjut mengurangi biaya operasional (yaitu konsumsi listrik) untuk pemanasan menggunakan heat pump. Di sini, peningkatan efisiensi sebesar 10-33% diterapkan untuk mencerminkan peningkatan COP.

Electro-thermal energy storage (ETES)

- **Pengurangan CAPEX:** Pengurangan CAPEX sebesar 10-20% diterapkan untuk perhitungan LCOH dari ETES. Dasar dari perhitungan ini adalah ETES masih dalam tahap pengembangan solusi, dan pengurangan CAPEX dapat dicapai dari pembelajaran di pemasangan dan/atau dukungan hibah dari pemerintah untuk mendukung dekarbonisasi di pemanasan industri.
- **LCOE VRE yang lebih rendah:** Pengurangan lebih lanjut pada LCOE VRE juga dapat mengurangi LCOH ETES. Harga listrik VRE sebesar \$30-40/MWh dari PLTS dipertimbangkan dalam perhitungan ini, dengan asumsi bahwa PLTS tersebut dipasang di lokasi terbaik. Kebijakan dan pengaturan PPA langsung yang memungkinkan penerapan hal ini juga dapat membantu mewujudkan harga listrik VRE yang rendah.

5. Pelayaran: Amonia hijau untuk bahan bakar pelayaran

Di sektor pelayaran, biaya produksi ammonia hijau yang dirata-ratakan (**levelized production cost of green ammonia/LCOA**) untuk bahan bakar pelayaran dibandingkan dengan bahan bakar petahana, yaitu bahan bakar minyak berat (*heavy fuel oil/HFO*).

Analisis *tipping point* di dalam laporan ini menggunakan perhitungan yang sama dengan yang digunakan dalam laporan Breakthrough Effect global, yaitu menggunakan perhitungan dari laporan **Making Net-Zero 1.5°C-Aligned Ammonia Possible dari Mission Possible Partnership (MPP) tahun 2022**. Perhitungan tersebut mengasumsikan jalur produksi amonia berbasis elektrolisis dengan energi terbarukan khusus di lokasi (*Variable Renewable Energy (VRE)* dengan baterai) dan penyimpanan H₂ melalui jalur perpipaan untuk menyeimbangkan *intermittency* dan memastikan pasokan H₂ yang stabil ke proses Haber-Bosch (sintesis amonia).

Seperti *levelised cost* yang lain, LCOA juga memiliki beberapa variabel, yaitu CAPEX, *fixed OPEX*, *variable OPEX* (yang bergantung pada harga energi dan bahan baku yang mungkin berbeda antar wilayah), biaya modal rata-rata tertimbang (*weighted average cost of capital/WACC*), *capacity utilization factor (CUF)*, dan masa pakai teknologi (T); serta dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini. Sederhananya, LCOA menggambarkan biaya investasi tahunan per unit produksi (satu ton amonia).

²IEA (2020). Energy Technology Perspectives: Special Report on Clean Energy Innovation.

$$LCOA = \frac{CAPEX + \sum_{t=0}^T \frac{OPEX_{fixed,t} + CUF * OPEX_{variable,t}}{(1 + WACC)^t}}{CUF * \sum_{t=0}^T \frac{1 \text{ tonne per annum}}{(1 + WACC)^t}}$$

Asumsi-asumsi utama

Pemodelan dari sumber asli³ menghitung 15 kemungkinan jalur produksi mulai dari *steam reforming*, gasifikasi, elektrolisis, dan pirolisis metana, serta mencakup 10 variasi wilayah yang berbeda dengan harga energi dan bahan baku yang berbeda. Namun, untuk perhitungan dalam laporan global dan laporan ini, hanya nilai minimum LCOA saja yang digunakan.

LCOA yang dihitung dari laporan global disajikan pada Tabel A-14. Beberapa LCOA dari wilayah yang dekat dengan Asia Tenggara juga disajikan dalam tabel untuk menunjukkan perbandingan produksi amonia hijau di ASEAN dibandingkan dengan wilayah lain.

Tabel A-14. Levelized cost ammonia hijau dari wilayah model yang dipilih

LCOA (\$/tNH ₃)	2020	2030	2050
Australia	709	493	427
Cina	645	540	508
Negara-negara Asia lainnya	862	595	501
Arab Saudi	710	533	469
Min	624	447	397
Median	763	545	477
Max	921	673	588

Sumber: Mission Possible Partnership. Catatan: tidak semua wilayah ditampilkan.

Untuk mengkonversi LCOA dari biaya per ton amonia (\$/tNH₃) ke biaya per unit setara HFO (\$/tHFO-ekuivalen), digunakan faktor konversi sebesar 2,07 (tNH₃/tHFO). Faktor konversi lain yang digunakan disajikan pada Tabel A-15.

Tabel A-15. Faktor konversi

Conversion Factors	Nilai
Harga karbon USD/tCO ₂	100
tCO ₂ /tHFO	3,15
tNH ₃ /tHFO	2,07

Catatan: t adalah metric ton.

Harga HFO diambil dari National Institute of Statistics and Economic Studies (INSEE), yang diambil dari laporan *Breakthrough Effect global*, dan disajikan pada Tabel A-16.

³ Ammonia Sector Transition Strategy Model. For more details on the key input assumptions of the model, please refer to the [Technical Appendix](#) of the MPP Ammonia report.

Tabel A-16. Rata-rata historis dan kisaran harga HFO

Variabel	Satuan	Wilayah	2020
HFO 10-Tahun Min	\$/tHFO	Global	145
HFO 10-Tahun Maks	\$/tHFO	Global	1125
HFO Harga rata-rata	\$/tHFO	Global	550
HFO Harga rata-rata + Harga Karbon (\$100/tCO ₂)	\$/tHFO	Global	865

Sumber: National Institute of Statistics and Economic Studies (INSEE).

6. Mineral kritis: Pemurnian nikel

Pada mineral kritis: sektor pemurnian nikel/super-leverage point, tambahan kebutuhan kapasitas PLTS untuk pemurnian nikel di Indonesia telah dihitung.

Permintaan kapasitas PLTS tambahan diperkirakan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Nickel\ demand \times Electricity\ demand\ (per\ tonne\ Ni_{eq}) \times \%VRE\ (\%RKEF\ (NiO) + \%RKEF\ (FeNi))$$

Di mana:

- Permintaan nikel untuk baterai diasumsikan sebesar 40% dari proyeksi kapasitas *smelter* pada tahun 2024
- Permintaan listrik (kW) per ton ekuivalen Ni (Ni_{eq}) diperkirakan menggunakan asumsi-asumsi di bawah ini
- % penetrasi VRE diasumsikan menggunakan tiga skenario: 25, 40, 60% (semuanya dari tenaga surya)
- %RKEF (NiO) mengacu pada berapa % total peleburan nikel yang berasal dari bijih/jalur produksi NiO. Dalam perhitungan ini, diasumsikan sebesar 50%.
- Demikian pula, %RKEF (FeNi) mengacu pada berapa % total peleburan nikel yang berasal dari bijih/jalur produksi FeNi. Dalam perhitungan ini, diasumsikan sebesar 25%.

Asumsi-asumsi utama:

a. Permintaan nikel

Proyeksi permintaan nikel untuk baterai pada tahun 2024 diperkirakan menggunakan prakiraan kapasitas produksi peleburan pada Gambar A-17. Diasumsikan hanya 40% dari kapasitas produksi *smelter* ini yang digunakan untuk produksi baterai Li-ion.

Tabel A-17. Kapasitas produksi smelter nikel global (kt)

	2018	2019	2020	2021	2022F	2023F	2024F
Indonesia	364	470	710	988	1,327	1,512	1,650

b. Electricity demand

Permintaan listrik per ton ekuivalen nikel (Ni_{eq}) diperkirakan berdasarkan jalur produksi dan jenis paduan bijih (NiO atau FeNi). Dalam hal ini, hanya tungku listrik tanur putar (*rotary kiln electric furnace/RKEF*) yang dipertimbangkan, karena merupakan jalur produksi yang memerlukan listrik.

Table A-18. Electricity consumption for smelting Nickel alloys by RKEF

Proses	NiO (per ton paduan)	FeNi (per ton paduan)
Tingkat kemurnian	75%	36%
Konsumsi listrik (kWh):		
Kalsinasi (calcination)		104
Peleburan (smelting)	18.187	7.237
Pemurnian (refining)		1.081
Total (kWh)	18.187	8.422
Total untuk 100% Ni-eq (kWh)—[1/kemurnian]	23.930	23.934

Sumber: Wei et al., (2020), Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Nickel Products, Energies, Systemiq analysis.

Permintaan listrik per ton Nieq kemudian dihitung dengan asumsi faktor kapasitas sebesar 20% dari PLTS. Sehingga, persamaannya menjadi:

$$\text{Permintaan Listrik per ton Ni}_{eq} = \frac{\text{Kebutuhan listrik lokal untuk 100\% Nickel}_{eq}}{8760 \times \text{Faktor Kapasitas PLTS (20\%)}}$$

c. Skenario penetrasi VRE

Perhitungan ini mempertimbangkan tiga skenario penetrasi VRE yang berbeda: 25, 40, dan 60% VRE (hanya dari tenaga surya). Hal tersebut menghasilkan tambahan permintaan kapasitas PLTS masing-masing sebesar 1,8, 2,9, dan 4,3 GW pada tahun 2024 untuk pemurnian nikel khusus untuk baterai Lithium-ion di Indonesia.





www.systemiq.earth

communications@systemiq.earth

Systemiq is not an investment advisor and makes no representation regarding the advisability of investing in any particular company or investment fund or other vehicle.