



MEMBANTAH MITOS NILAI TAMBAH, MENILIK ULANG INDUSTRI HILIRISASI NIKEL

**DAMPAK EKONOMI DAN KESEHATAN DARI INDUSTRI NIKEL DI
SULAWESI TENGAH, SULAWESI TENGGARA, DAN MALUKU UTARA**

02/2024



Membantah Mitos Nilai Tambah, Menilik Ulang Industri Hilirisasi Nikel – Dampak Ekonomi dan Kesehatan dari Industri Nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

20 Februari 2024

Penulis

CREA

Lauri Myllyvirta, Lead Analyst

Katherine Hasan, Analyst

Jamie Kelly, Air Quality Analyst

Jobit Parapat, Researcher

CELIOS

Bhima Yudhistira Adhinegara, Direktur Eksekutif

Atina Rizqiana, Researcher

Fiorentina Refani, Researcher

Nailul Huda, Researcher

Lay Monica, Researcher

Jaya Darmawan, Researcher

Wishnu Try Utomo, Manajer Advokasi Batubara

Penerjemah

Atina Rizqiana

Desainer

Wendi Wu

Tentang CREA

Centre for Research on Energy and Clean Air atau CREA (Pusat Penelitian Energi dan Udara Bersih) adalah organisasi penelitian independen yang berfokus pada pemahaman tren, penyebab, dampak kesehatan, dan solusi terhadap polusi udara. CREA memanfaatkan data ilmiah, penelitian, dan bukti untuk mendukung upaya pemerintah, dunia usaha, dan kelompok advokasi di seluruh dunia dalam upaya energi bersih dan udara bersih. CREA percaya bahwa penelitian dan komunikasi yang efektif adalah kunci keberhasilan pengambilan keputusan dalam kebijakan, investasi, dan advokasi. CREA didirikan di Helsinki dengan staff yang tersebar di beberapa negara di Asia dan Eropa.

Tentang CELIOS

Center for Economic and Law Studies atau CELIOS merupakan lembaga penelitian yang berfokus pada analisis makroekonomi, kebijakan publik, ekonomi berkelanjutan. CELIOS menggunakan berbagai metode ekonometrika untuk memengaruhi kebijakan publik di tingkat pemerintahan, perusahaan, dan komunitas lokal dalam rangka memberikan pemahaman terhadap isu kebijakan energi dan mineral transisi (*transitional minerals*). CELIOS juga memiliki berbagai jaringan dengan media internasional dan kelompok masyarakat sipil di berbagai negara untuk mendorong kebijakan transisi energi yang berkeadilan di Indonesia.

Pernyataan

CREA bersifat independen secara politik. Rujukan yang digunakan dan penyajian materi pada peta yang terdapat dalam laporan ini tidak menyiratkan adanya pendapat apapun mengenai status hukum suatu negara, wilayah, kota, daerah atau pemerintahannya, atau mengenai penetapan batas atau batas wilayahnya.

Pandangan dan pendapat yang terdapat dalam publikasi ini merupakan milik para penulis dan tidak selalu mencerminkan kebijakan atau posisi resmi, atau mewakili pandangan atau pendapat, dari CREA, atas anggotanya dan/atau para pendananya. CREA tidak bertanggung jawab atas kesalahan atau kelalaian dalam konten publikasi ini.

Membantah mitos nilai tambah, menilik ulang industri hilirisasi nikel

Dampak ekonomi dan kesehatan dari industri nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

Studi ini berfokus pada dampak perkembangan industri nikel yang pesat di provinsi-provinsi penghasil nikel terbesar di Indonesia, memberikan wawasan tentang dampak terhadap perekonomian nasional dan regional serta dampak kesehatan dan lingkungan pada klaster industri nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara.

Temuan utama

Dampak ekonomi

- Kehadiran industri pengolahan nikel membawa dampak ekonomi yang perlu dilihat secara komprehensif. Di satu sisi, industri nikel mampu mendongkrak laju ekspor khususnya produk feronikel dan NPI. Namun penghitungan dampak ekonomi perlu melihat berbagai aspek, beberapa di antaranya terkait keberlangsungan perekonomian karena penggunaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dari batubara, ditambah lagi standar industri nikel yang tidak memperhatikan aspek lingkungan, dan kontribusi terhadap perekonomian masyarakat justru berdampak buruk dalam jangka panjang.
- Dalam skenario saat ini atau *business-as-usual* (BAU), operasi industri pengolahan nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara hanya menghasilkan PDB positif sebesar USD4 miliar (Rp62,8 triliun) pada tahun ke-5 atau tahap konstruksi, kemudian menurun setelah dampak lingkungan hidup dan kesehatan mulai memperlihatkan efek negatifnya terhadap total *output* perekonomian.
- Degradasi lingkungan mengakibatkan penurunan manfaat ekonomi secara bertahap, terutama setelah tahun ke-8 dalam skenario yang dilakukan CELIOS, dan

indikator negatif muncul pada tahun ke-9. Proyeksi ini juga berlaku baik di tingkat nasional maupun regional dengan skenario BAU.

- Kegiatan industri pengolahan nikel memiliki dampak yang kecil terhadap pengurangan angka ketimpangan antar wilayah.
- Industri nikel pada skenario *existing* (BAU) terbukti mempunyai dampak ekonomi dan penyerapan tenaga kerja yang lebih negatif dibandingkan dengan skenario energi terbarukan (ET) dan instalasi APC (Air Pollution Control).
- Meskipun jika penerapan langkah-langkah seperti sumber energi terbarukan (ET) untuk menggantikan PLTU dan pengendalian polusi udara (APC-Air Pollution Control) untuk memitigasi dampak buruk dari emisi gas buang dilakukan, analisis kami menunjukkan bahwa dampak ekologi dan biaya kesehatan pada pekerja dan masyarakat lokal tidak dapat dimitigasi sepenuhnya.
- Total akumulasi upah pekerja di berbagai sektor yang dihasilkan selama 15 tahun berjumlah USD14,71 miliar (Rp228 triliun). Namun skenario BAU mengenai proyeksi upah pekerja dalam jangka panjang cenderung turun karena pendapatan pekerja di sektor pertanian dan perikanan cukup terdampak oleh aktivitas industri pengolahan nikel. Pekerja yang menghadapi penurunan produktivitas akibat pencemaran udara ikut mempengaruhi pendapatan yang diterima.
- Implikasi industri pengolahan nikel terhadap sektor pertanian dan perikanan di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara cenderung negatif dalam skenario BAU. Industri nikel dapat menghasilkan kerugian nilai tambah ekonomi lebih dari USD387,10 juta (Rp6 triliun) dalam 15 tahun bagi sektor pertanian dan perikanan.
- Skenario beroperasinya industri nikel saat ini dapat menyebabkan petani dan nelayan kehilangan pendapatan sebesar USD234,84 juta (Rp3,64 triliun) dalam 15 tahun ke depan.

Dampak kesehatan dan lingkungan terkait polusi udara

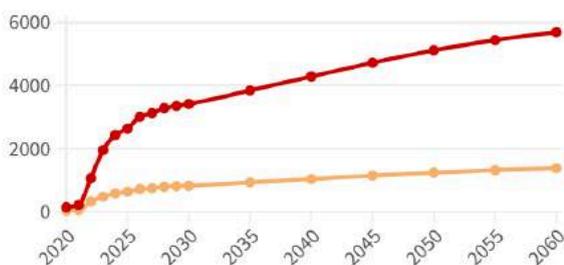
- Sebaran emisi dari industri logam di Indonesia berubah drastis sejak hilirisasi nikel dimulai—ditandai dengan pelarangan ekspor bijih nikel pada tahun 2020. Dengan pesatnya perkembangan industri nikel yang pengolahannya berbasis batubara, Pulau Sulawesi dan Kepulauan Maluku menjadi titik utama sumber emisi.
- Hampir 80% dari total emisi di tiga provinsi yang dievaluasi untuk studi ini—Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara—berasal dari proses pengolahan nikel. Sisanya berasal dari PLTU *captive* (*captive power plant*) yang dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan listrik ke unit-unit smelter nikel.
- Pertumbuhan industri nikel yang pesat, jika tidak diatur, akan menyebabkan lebih dari 3.800 kematian pada tahun 2025 dan hampir 5.000 kasus pada tahun 2030.
- Emisi dari smelter dan PLTU *captive* di tiga provinsi yang diteliti diperkirakan akan memberikan dampak beban ekonomi tahunan sebesar USD2,63 miliar (Rp40,7 triliun) pada tahun 2025. Tanpa intervensi yang berarti untuk memitigasi emisi, beban ini diperkirakan akan meningkat lebih dari 30%—atau USD 3,42 miliar (Rp 53 triliun)—pada tahun 2030.
- Masyarakat yang tinggal di Sulawesi Tenggara, Maluku Utara, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Tengah akan menanggung dampak kerugian ekonomi dan kesehatan yang paling parah akibat paparan udara beracun dalam waktu lama.
- PT. Obsidian Stainless Steel, dengan kapasitas produksi tahunan sebesar 2,2 juta ton feronikel dan 3 juta ton baja tahan karat, diperkirakan menyebabkan lebih dari seribu kematian setiap tahunnya dan menempati posisi teratas. Perusahaan lain yang masuk dalam daftar lima besar adalah PT. Indonesia Tsingshan Stainless Steel, PT. Alchemist Metal Industry, PT. Virtue Dragon Nickel Industry, dan PT. Gunbuster Nickel Industry diperkirakan menyebabkan antara 300 dan 500 kematian setiap tahunnya.
- Tanpa pemasangan dan pengoperasian teknologi pengendalian pencemaran udara (APC) yang tepat, sebanyak 1,2 juta penduduk akan terpapar NO₂ dan SO₂ dengan konsentrasi yang melebihi ambang batas harian dan 7 juta orang akan terpapar konsentrasi PM_{2.5} yang melebihi ambang batas harian. Ketiganya diketahui sebagai polutan udara utama yang membahayakan kesehatan.

- Selain memitigasi emisi dari pembangkit listrik tenaga batubara, tindakan pengendalian polusi udara juga sangat penting dalam gas buang pengolahan logam, yang mengandung polutan udara beracun dalam konsentrasi tinggi. Dengan penggunaan teknologi pengendalian polusi udara, lebih dari 3.500 kematian yang terkait dengan emisi dari pengolahan dan 250 kematian yang terkait dengan emisi dari pembangkit listrik tenaga batubara dapat dihindari pada tahun 2030.
- Sebanyak 55.600 kematian dan kerugian sebesar USD38,2 miliar (Rp592 triliun) dapat dihindari pada tahun 2060 jika semua pusat pengolahan di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara menerapkan standar kualitas udara yang ketat.
- Kurangnya langkah-langkah pengendalian polusi di PLTU meningkatkan risiko merkuri dan partikel beracun mencemari lingkungan lokal. Analisis menunjukkan bahwa tingkat deposisi merkuri dapat mencapai 2,5 kali lipat dari ambang batas aman yaitu 125 mg/ha/tahun, dengan potensi kontaminasi yang tinggi terhadap kawasan perairan. Endapan partikel beracun dapat mencapai 80 kg/ha/tahun di daerah sekitar pusat pengolahan, yang menyiratkan tingginya risiko dampak negatif ekologi dan biologis.
- Keaneekaragaman kelautan dan hutan di Indonesia, khususnya di Sulawesi dan Kepulauan Maluku, terancam terkontaminasi oleh partikel-partikel logam berat yang dihasilkan dari PLTU dan pusat-pusat pengolahannya. Taman Nasional Aketajawe Lolobata, Taman Hutan Raya Murhum/Nipa-Nipa, Taman Laut Pulau Tokobae, dan Taman Laut Teluk Lasolo, merupakan beberapa dari sekian banyak kawasan lindung yang paling terdampak.

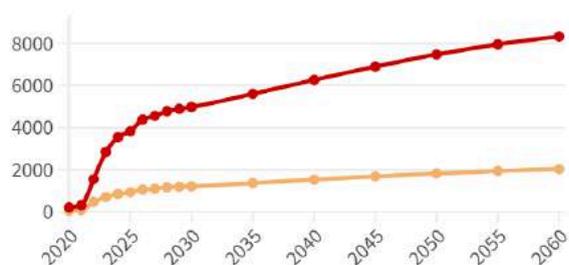
Beban ekonomi dan angka kematian akibat polusi udara terkait emisi smelter dan captive power, berdasarkan skenario (Business As Usual vs. APC)

■ Air Pollution Control ■ Business As Usual

USD million

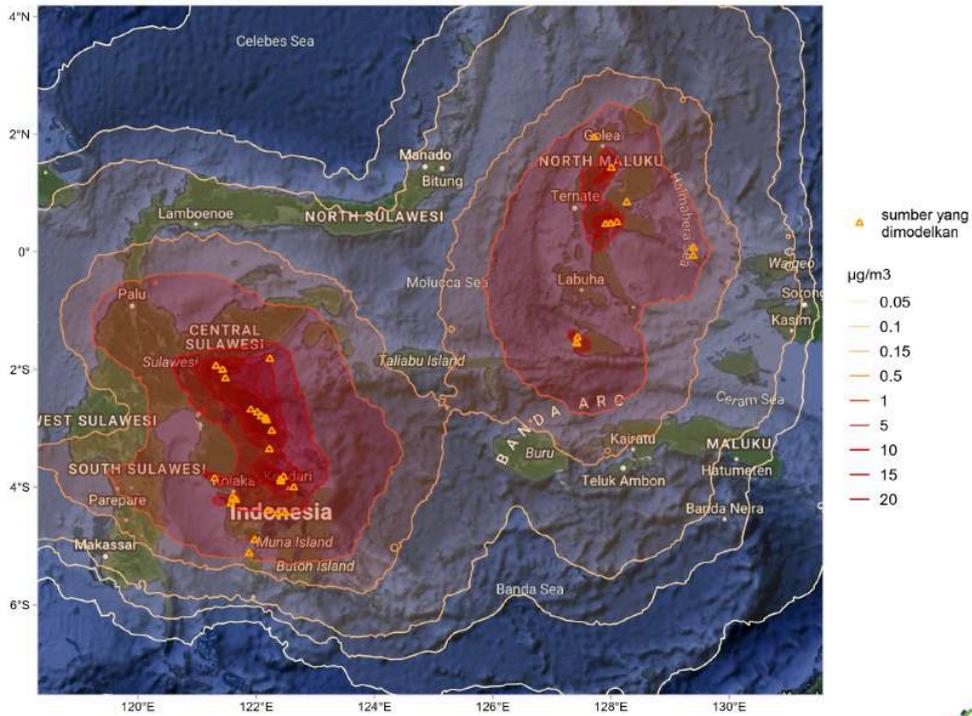


deaths



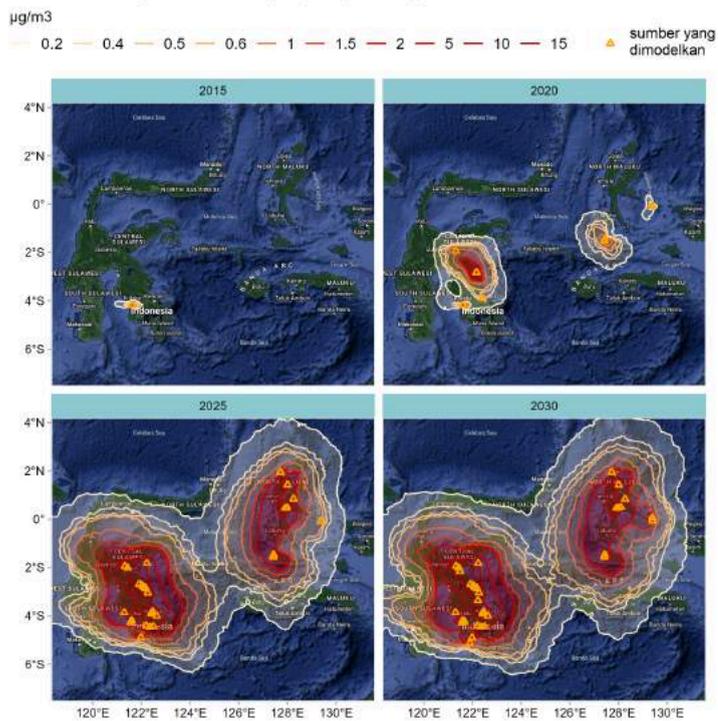
Sumber: Analisis CREA. • Valuasi saat ini pada 2024.

Rata-rata konsentrasi PM2.5 tahunan dari seluruh smelter dan captive power



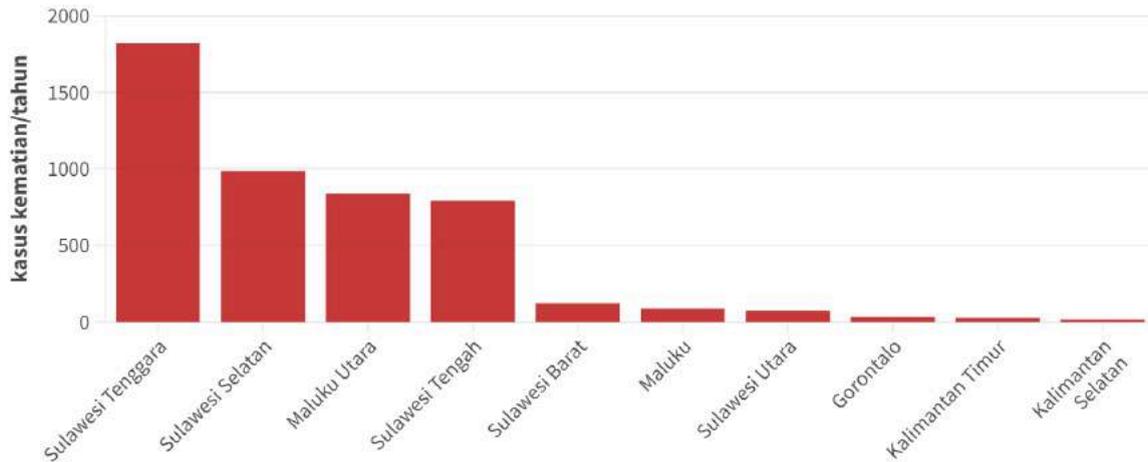
Rata-rata konsentrasi PM2.5 tahunan

berkaitan dengan smelter dan captive power pendukung, berdasarkan tahun



Kematian akibat polusi udara terkait dengan emisi smelter dan captive power pada tahun 2030

berdasarkan provinsi yang terkena dampak, karena emisi dari tiga provinsi yang dievaluasi



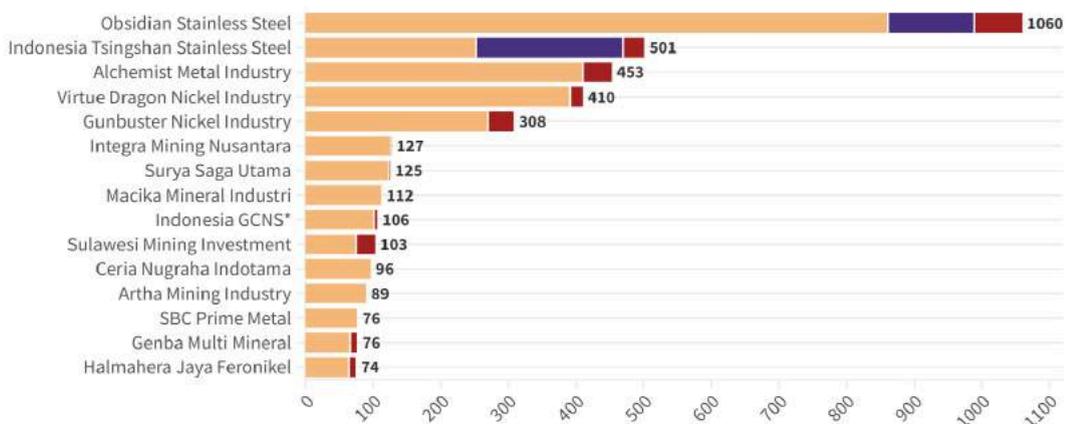
Sumber: Analisa CREA.

Perusahaan smelter dengan proyeksi dampak kesehatan terbesar

Angka kematian tahunan akibat polusi udara terkait dengan emisi smelter dan captive power pada tahun 2030

■ captive power ■ proses pengolahan - nickel ■ proses pengolahan - iron & steel

kasus kematian/tahun



Sumber: Analisis CREA.

*Indonesia GCNS, Indonesia Guang Ching Nickel And Stainless Steel Industry

Daftar isi

Temuan utama	4
Daftar isi	9
Akronim	11
Latar belakang	13
Booming nikel dan strategi hilirisasi di Indonesia	13
Peluang dan tantangan	16
Metodologi	19
Pemodelan ekonomi	19
Pemodelan polusi udara	22
Dampak terhadap perekonomian nasional	33
Produk Domestik Bruto (PDB)	36
Keuntungan komersial	47
Lapangan kerja dan tenaga kerja	48
Dampak terhadap pertanian dan perikanan	51
Dampak terhadap ketimpangan di tingkat regional	56
Dampak terhadap kesehatan dan lingkungan	58
Emisi dari captive power dan pengolahan logam	58
Dampak kesehatan dari polusi udara	72
Deposisi beracun	79
Kesimpulan dan rekomendasi	85
Referensi	88
Lampiran	95
Lampiran A1 - Input dan asumsi inventarisasi emisi	95
Lampiran A2 - Referensi dampak kesehatan terkait polusi udara	105
Lampiran A3 - Biaya investasi dan operasional APC, dan biaya ekonomi polusi udara yang berkurang dengan pemasangan APC	109

Akronim

%Co	Persentase kandungan cobalt
%Ni	Persentase kandungan nikel
AMDAL	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan
APC	<i>Air Pollution Control</i> , Alat Pengendali Polusi Udara
BAU	<i>Business-As-Usual</i> , Bisnis Seperti Biasa
BF	<i>Blast Furnace</i> , tanur tiup
CELIOS	<i>Center of Economic and Law Studies</i>
CFPP	<i>Coal-fired Power Plant</i> , Pembangkit Listrik Tenaga Uap
CI	<i>Confidence Interval</i> , Interval Keyakinan
CO	Karbon Monoksida
CO ₂	Karbon Dioksida
COD	<i>Commercial Operation Date</i> , Tahun Operasi Komersial
Conc.	<i>Concentration</i> , konsentrasi
EEA	<i>European Environment Agency</i>
EIA	<i>Environmental Impact Assessment</i>
ESG	<i>Environmental, Social, and Governance</i>
FGC	<i>Flue Gas Concentration</i> , Konsentrasi Asap Buang
GCPT	<i>Global Coal Plant Tracker</i>
PDB	Produk Domestik Bruto
PDRB	Produk Domestik Regional Bruto
GEM	<i>Global Energy Monitor</i>
GW	Gigawatt
GtCO ₂ -eq	Gigaton setara karbon dioksida
ha	hektar
Hg	Merkuri
HPAL	<i>High Pressure Acid Leaching</i> , proses pelindian pada tekanan tinggi
Rp	Rupiah Indonesia
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IESR	<i>Institute for Essential Services Reform</i>
IHME	<i>Institute for Health Metrics and Evaluation</i>
int. USD	Dollar internasional, setara dengan daya beli 1 USD
JETP	<i>Just Energy Transition Partnership</i> , Kemitraan Transisi Energi yang Adil

KESDM	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
LHV	<i>Lower Heating Value</i> , Nilai Kalor Bawah
$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	Mikrogram per kubik meter normal (pada 101.325 kPa, 273.15 K)
mg/Nm^3	Miligram per kubik meter normal (pada 101.325 kPa, 273.15 K)
$\text{MtCO}_2\text{-eq}$	Jutaton setara karbon dioksida
MW	Megawatt
MWh	<i>Megawatt-hour</i> , Megawatt-jam
Nm^3/GJ	Meter kubik normal per GigaJoule (pada 101.325 kPa, 273.15 K)
Nm^3/MWh	Meter kubik normal metre per Megawatt-jam (pada 101.325 kPa, 273.15 K)
NO_2	Nitrogen Dioksida
NO_x	Nitrogen Oksida
O_2	Oksigen
O_3	Ozon, permukaan
PDB	Produk Domestik Bruto
PDRB	Produk Domestik Regional Bruto
PLN	Perusahaan Listrik Negara
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
PM	<i>Particulate Matter</i> , Partikulat
$\text{PM}_{2.5}$	Partikulat dengan partikel yang berdiameter 2,5 mikron atau kurang
PM_{10}	Partikulat dengan partikel yang berdiameter 10 mikron atau kurang
RKEF	Rotary Kiln Electric Furnace, tungku listrik tanur putar
SO_2	Sulfur dioksida
SO_x	Sulfur oksida
tpa	<i>Metric ton per annum</i> , ton metrik per tahun
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
USD	<i>United States Dollar</i> , Dollar Amerika Serikat
WRF	<i>Weather Research Forecasting</i>

Latar belakang

Booming nikel dan strategi hilirisasi di Indonesia

Dengan diberkahi sumber daya geologi dan mineral yang melimpah, Indonesia memiliki andil besar dalam perdagangan hasil tambang global. Cadangan nikel dan timah dalam negeri diketahui merupakan yang terbesar di dunia. Selain itu, Indonesia memiliki potensi batubara dan bauksit tertinggi keenam, serta ketujuh terbesar untuk tembaga (ESDM, 2021). Hilirisasi sumber daya alam telah menjadi salah satu agenda nasional Pemerintah untuk memperlancar dan menopang pertumbuhan ekonomi yang sangat penting dalam mewujudkan visi ‘Indonesia Emas 2045’. Menandai 100 tahun kemerdekaan, Indonesia dengan tegas menetapkan rencana strategis nasional untuk menjadi negara maju pada tahun 2045 dan keluar dari jebakan pendapatan menengah (Kominfo, 2023).

Nikel, khususnya, telah menjadi sorotan dalam beberapa tahun terakhir karena pertumbuhan volume ekspor yang tajam. Permintaan global terhadap nikel telah meningkat secara signifikan dalam lima tahun terakhir dengan pertumbuhan tahunan sekitar 10%, dari 2,44 juta ton pada tahun 2019 menjadi 3,61 juta ton pada tahun 2023 (Statista, 2022). Sejalan dengan pertumbuhan ini, Indonesia terus meningkatkan produksi nikel tahunan nasional dari 0,2 juta ton pada tahun 2016 menjadi 0,76 juta ton pada tahun 2020, setara dengan 30% volume produksi global (MEMR, 2021).

Permintaan global terhadap nikel serta produksi dan pengolahan dalam negeri Indonesia

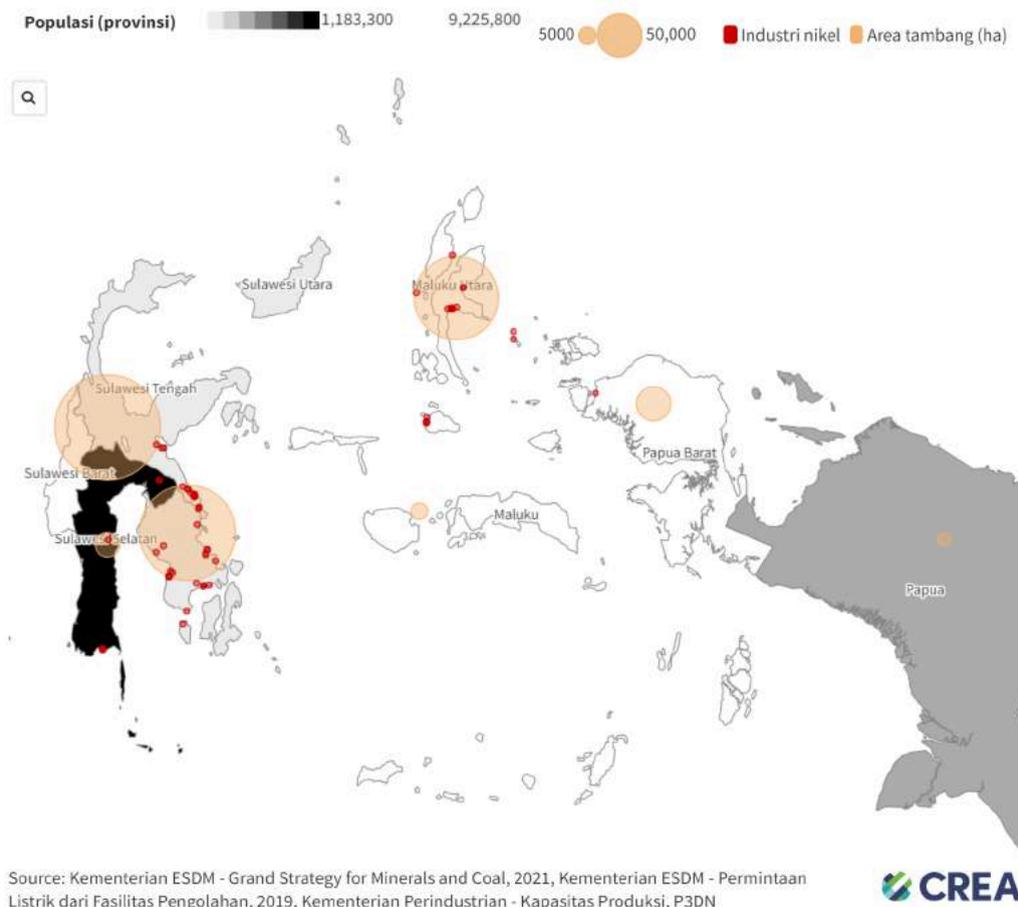


Sumber: Kementerian ESDM, Grand Strategi Minerba (2021); Statista, Permintaan Nikel di seluruh dunia 2019-2023 (2023); SYSTEMIQ, the Breakthrough Effect in ASEAN (2023).

Gambar 1. Dinamika nikel Indonesia terhadap permintaan global antara 2016 dan 2023

Meskipun terjadi pertumbuhan di pasar global, pengolahan bijih nikel mentah di dalam negeri turun secara signifikan dari sekitar 100% pada tahun 2016 menjadi 55% pada tahun 2019, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 di atas (ESDM, 2021). Untuk menutup kesenjangan tersebut, Pemerintah melarang ekspor bijih nikel dengan kadar di bawah 1,7% mulai 1 Januari 2020.¹ Strategi ini berhasil meningkatkan ekspor produk nikel sebesar 8,5 kali lipat, meningkat dari USD4 miliar pada tahun 2017 menjadi USD34 miliar pada tahun 2022 (Kominfo, 2023).

Gambar 2 menunjukkan provinsi-provinsi yang memiliki cadangan signifikan, beserta lokasi perusahaan yang bergerak di bidang peleburan dan pemurnian nikel di Sulawesi, Maluku, dan Papua.



Gambar 2. Peta sebaran industri nikel Indonesia saat ini di wilayah Indonesia Timur

Cadangan nikel terbesar terletak di wilayah Indonesia Timur dengan total bijih nikel dan logam diperkirakan masing-masing sebesar 143 juta ton dan 49 juta ton. Hingga Juni 2021,

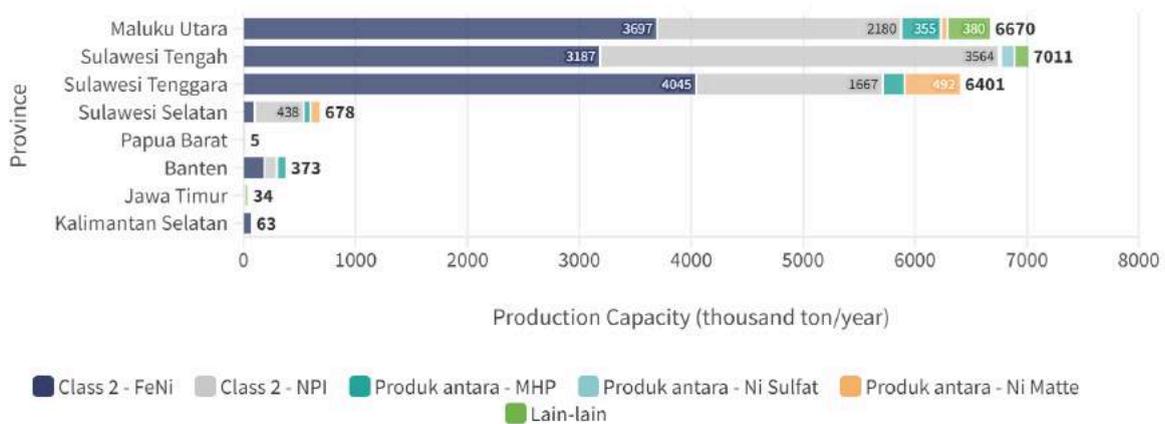
¹ Peraturan Menteri No. 11 Tahun 2019 (ESDM-JDIH, 2019)

Pemerintah telah memberikan 338 izin aktif kepada perusahaan pertambangan nikel (ESDM, 2021). Perkembangan industri peleburan dan pemurnian nikel sangat pesat, khususnya di Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, dan Maluku Utara. Penambahan yang signifikan diperkirakan terjadi hingga tahun 2025, dan peningkatan lebih lanjut mungkin berlanjut hingga tahun 2030.

Gambar 3 di bawah ini merangkum kapasitas produksi nikel, yang dikumpulkan dalam studi ini, di seluruh Indonesia berdasarkan jenis komoditas dan provinsi.

Kapasitas produksi komoditas nikel berdasarkan jenisnya di seluruh Indonesia

Data kapasitas nominal, termasuk proyek berstatus operasional, serta dalam konstruksi dan perencanaan



Sumber: Kompilasi fasilitas peleburan logam CREA dan CELIOS, lihat Metodologi

Gambar 3. Distribusi kapasitas produksi berbagai komoditas nikel berdasarkan jenis dan status komoditas (beroperasi dan dalam tahap konstruksi atau perencanaan)

Mayoritas cadangan bijih nikel Indonesia berbentuk **bijih laterit**, terbagi menjadi dua jenis—**bijih limonit** (0,8-1,5%Ni, kaya besi) dan **bijih saprolit** (1,5-3%Ni, dengan kandungan 0,1-0,2%Co yang dapat diekstraksi melalui proses kimia) (Anderson, 2023). Berdasarkan pemanfaatan cadangan yang tersedia saat ini, Badan Geologi Kementerian ESDM memperkirakan total umur limonit adalah 34 tahun dan saprolit adalah 15 tahun (Handayani, 2023).

Secara historis, Indonesia hanya fokus pada komoditas **Nikel Kelas 2; Feronikel (FeNi)** dan **Nickel Pig Iron (NPI)**, yang terutama digunakan dalam produksi baja tahan karat. FeNi dan NPI umumnya dihasilkan dari **bijih saprolit** yang diproses melalui proses pirometalurgi menggunakan smelter **Blast Furnace (BF)** dan **Rotary Kiln Electric Furnace (RKEF)**. Dengan pelarangan ekspor bijih nikel, Pemerintah menempatkan fokus utama pada hilirisasi untuk meningkatkan nilai tambah dalam negeri. Sebagai hasil dari strategi ini, terjadi peningkatan penggunaan produk Nikel Kelas 2 dalam produksi baja tahan karat

dalam negeri dan untuk konversi menjadi **produk Nikel Kelas 1² dengan kemurnian tinggi** yang digunakan dalam produksi sel baterai kendaraan listrik (EV), teknologi terbaru, dan *superalloy* (Kementerian ESDM, 2021; Huber, 2021).

Bijih limonit digunakan sebagai bahan baku dalam proses hidrometalurgi, yaitu **High-Pressure Acid Leach (HPAL)**, yang menghasilkan **Mixed Hydroxide Precipitate (MHP)** dan **Mixed Sulfide Precipitate (MSP)**, produk antara atau *intermediate* mengandung nikel dan kobalt. Proses konversi selanjutnya dapat digunakan untuk mengekstrak **Nikel Sulfat** (21%Ni) dan **Nikel Hidroksida** (40%Ni) dari **MHP atau MSP**. Sedangkan **Nikel Matte** (80%Ni) dapat diperoleh dari **FeNi atau NPI** melalui **RKEF**. Ketiganya digunakan dalam produksi sel baterai.

Dengan Badan Energi Internasional (*International Energy Agency, IEA*) yang mencatat Indonesia sebagai 'pusat penambangan dan pemurnian nikel terbesar di dunia', negara ini memainkan peran penting dalam memenuhi permintaan global yang terus meningkat untuk **FeNi, NPI, MHP/MSP, Nikel Sulfat, Nikel Hidroksida, dan Nikel Matte** digunakan dalam produksi baja tahan karat dan rantai pasokan baterai (IEA, 2023; Melvin, 2023). Pada Konferensi Tingkat Tinggi Kerjasama Ekonomi Asia-Pasifik yang diselenggarakan pada November 2023, Presiden Joko Widodo mengumumkan bahwa Indonesia akan memulai produksi kendaraan listrik pada tahun 2024, dengan target 600.000 unit pada tahun 2030. Beliau juga menegaskan kembali komitmen Indonesia terhadap sumber daya terbarukan dan pengembangan kawasan industri hijau seluas 30.000 hektar (Setkab, 2030).

Peluang dan tantangan

Industri ekstraktif merupakan industri yang padat energi dan emisi, yang memunculkan permasalahan krusial pertama—**ketergantungan dan tingginya proporsi penggunaan batubara** di industri hilir Indonesia. Lebih dari tiga perempatnya, atau 8,2 GW dari 10,8 GW, total kapasitas operasi seluruh pembangkit listrik tenaga batubara di Indonesia didedikasikan untuk pengolahan logam (CREA, 2023). Selain itu, pembangkit *off-grid captive* berbasis batubara masih belum dibahas dalam perencanaan energi dan peta jalan iklim nasional.

Rencana Investasi dan Kebijakan Komprehensif (CIPP) Kemitraan Transisi Energi yang Adil (JETP), yang diselesaikan pada bulan November 2023, menyatakan bahwa pembangkit listrik tenaga batubara *off-grid* masih berada di luar cakupan. Puncak emisi sektor ketenagalistrikan sebesar 290 MTCO₂ pada tahun 2030 akan 'sangat sulit dicapai' berdasarkan apa yang diketahui tentang lanskap *captive power plant* (Sekretariat JETP,

² *Mixed Hydroxide/Sulfide Precipitate* (MHP/MSP), nikel sulfat, nikel matte, dan nikel murni

2023). Dekarbonisasi industri logam di Indonesia dipandang sebagai sebuah trilema, menimbang persaingan strategi ekonomi nasional, kurangnya energi alternatif hemat biaya, dan sistem jaringan listrik yang belum bisa diandalkan (Zhu *et al.*, 2023).

China adalah investor terbesar dalam pembangkit listrik tenaga batubara *captive* di Indonesia, dengan lebih dari 70% kepemilikan dimiliki oleh 14 perusahaan pengolahan dan pertambangan logam swasta dan milik negara. Investor internasional dapat berperan penting dalam upaya dekarbonisasi di Indonesia, dengan menyelaraskan standar emisi mereka dengan pedoman internasional atau standar yang lebih ketat yang berlaku di China (Zhu dkk., 2022; Wang, 2022).³

Terlepas dari kerangka regulasi yang berlaku terkait emisi sektor pertambangan, pertumbuhan pesat pertambangan dan pengolahan nikel telah menyebabkan **peningkatan polusi udara, tanah, dan air** dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa di antaranya adalah pembuangan limbah di lepas pantai Pulau Obi yang membuat air laut berubah menjadi merah, pencemaran logam berat di Teluk Weda dan Teluk Buli Halmahera, pembuangan limbah bawah laut dari Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP), degradasi lahan paskatambang di Konawe Utara, dan buangan asap cerobong pembangkit batubara dan polusi dari pengangkutan batubara yang berdampak pada kesehatan masyarakat lokal yang tinggal di sekitar Kawasan Industri Konawe (Mongabay Environmental News, 2022; Kompas, 2023; Ginting & Moore, 2021; Barus dkk, 2022).

Coral Triangle—rumah bagi 76% spesies karang perairan dangkal di dunia—berada dalam risiko besar seiring pesatnya pertumbuhan pusat pertambangan dan pemrosesan nikel di Indonesia (CTI-CFF, 2009). Terdapat kekhawatiran dari kelompok advokat lingkungan hidup serta anggota Dewan Perwakilan Rakyat (DPR-RI) bahwa ekspansi yang cepat dapat menciptakan tekanan untuk melonggarkan atau bahkan mencabut peraturan mengenai pembuangan tailing ke laut dalam atau meningkatkan risiko pembuangan ilegal. Menanggapi hal tersebut, Menteri Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi Luhut Binsar Pandjaitan menyatakan pada Juli 2023 bahwa Indonesia saat ini hanya memperbolehkan pembuangan dalam kontainer khusus atau dengan bendungan, penumpukan kering, atau kombinasi keduanya (Setiawan, 2023).

Deforestasi dan hilangnya keanekaragaman hayati di Pulau Sulawesi dan Maluku Utara telah meningkat secara signifikan sejak industri nikel berkembang. Lebih dari 500 ribu hektar hutan telah hilang di Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara, tidak hanya karena konsesi resmi tetapi dilaporkan juga karena praktik-praktik tidak sah (Hidayat &

³ Pedoman Perlindungan Ekologis dan Lingkungan dari Kerjasama Penanaman Modal Asing dan Proyek Konstruksi 2022, oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Ekologi dan Kementerian Perdagangan China

Hermawan, 2022). Total konsesi lahan dari pemerintah kepada industri pertambangan melebihi satu juta hektar pada tahun 2022, di mana lebih dari 75% merupakan kawasan hutan menurut Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (WALHI) (Wicaksono, 2023).

Kekhawatiran mengenai aspek sosial dan tata kelola, termasuk hak-hak pekerja dan perlindungan pada industri nikel juga banyak dikemukakan. Antara tahun 2019 dan 2023, 32 warga masyarakat lokal dituntut secara hukum akibat konflik dengan perusahaan pertambangan nikel.⁴ Dari jumlah tersebut, dua orang ditangkap, sementara 14 orang dilaporkan mengalami penganiayaan dari pihak berwenang (Bhawono, 2023). Aktivis dan tokoh masyarakat mengkritisi revisi Pasal 162 Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Revisi UU Minerba sebagai instrumen untuk membungkam advokat (MKRI, 2022).⁵

Pada tanggal 24 Desember 2023, 21 pekerja tewas dalam ledakan smelter di fasilitas milik PT Indonesia Tsingshan Stainless Steel dan PT Gunbuster Nickel Industry (Tenggara Strategics, 2024). Ini bukanlah insiden tunggal. Antara tahun 2015 dan 2022, 53 pekerja tewas dalam kebakaran dan ledakan pabrik peleburan, menurut Trend Asia. Sekitar 65 insiden dilaporkan antara tahun 2015 dan 2023, yang menunjukkan meluasnya kelalaian dalam menjaga standar keselamatan di sektor ini (Handayani, 2024).

Kebakaran dan ledakan smelter telah terjadi berulang kali di beberapa fasilitas, dengan jumlah 65 kejadian dari tahun 2015 hingga 2023 (Handayani, 2024). Hal ini menunjukkan adanya permasalahan dalam manajemen kesehatan dan keselamatan kerja, yang disebabkan oleh kelalaian audit dan pelanggaran penerapan standar. Trend Asia menyoroti bahwa terdapat 53 korban jiwa (40 warga negara Indonesia dan 13 warga negara Tiongkok) antara tahun 2015 hingga 2022. Jumlah tersebut belum termasuk kecelakaan terbaru yang terjadi pada tanggal 24 Desember 2023, di mana pabrik peleburan milik PT Indonesia Tsingshan Stainless Steel dan PT Gunbuster Nickel Industry meledak sehingga menimbulkan 21 korban jiwa (13 warga negara Indonesia dan 8 warga negara Tiongkok) (Tenggara Strategics, 2024).

Indonesia saat ini sedang menghadapi tugas mendesak untuk melakukan reformasi industri logam dalam negeri, yang mengharuskan seluruh pemangku kepentingan dalam rantai pasokan nikel untuk memainkan peran proaktif dalam memastikan keselamatan pekerja dan melindungi lingkungan. Untuk transisi yang adil dan berkelanjutan, pengadaan mineral penting harus dilakukan secara bertanggung jawab dengan mempertimbangkan dampak lingkungan dan sosial secara cermat.

⁴ Akibat dampak negatif terhadap penghidupan masyarakat lokal, sengketa lahan mengenai hak-hak masyarakat adat, dan migrasi ke komunitas pertambangan.

⁵ Pelanggaran terhadap aturan ini dapat diancam dengan pidana penjara paling lama satu tahun atau denda paling banyak Rp100 juta.

Metodologi

Pemodelan ekonomi

Interregional Input-Output (IRIO) digunakan untuk menganalisis dan menghitung dampak ekonomi dari kegiatan hilirisasi nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara. Meskipun metode IRIO dan Input-Output (I-O) serupa dalam banyak hal, metode IRIO lebih mampu melakukan analisis rinci mengenai dampak antar dan intra-regional, yang mencakup efek limpahan dan dampak umpan balik.

Dengan IRIO, kita bisa melihat dampak kebijakan investasi di suatu daerah terhadap daerah lain. Tabel IRIO terdiri dari tabel *input-output* dari berbagai daerah yang terhubung melalui transaksi perdagangan antar daerah. Tabel ini mencerminkan arus barang antar daerah dan dapat dianggap sebagai perdagangan antar daerah.

Secara umum analisis IRIO dijelaskan pada Tabel 1, di mana terdapat proses *input* transaksi ekonomi hingga menghasilkan suatu *output*. Dalam menghasilkan *output*, sektor produksi primer akan menghasilkan *input* bagi sektor produksi primer itu sendiri dan sektor lainnya (sekunder dan tersier), dan ditambahkan pada permintaan akhir di setiap provinsi.

Tabel 1. Metode IRIO

Provinsi	Sektor	D			J			Lain-lain		
		1	...	16	1	...	16	1	...	16
D	1	Z_{11}^{DD}	...	Z_{116}^{DD}	Z_{11}^{DJ}	...	Z_{116}^{DJ}	Z_{11}^{DL}	...	Z_{116}^{DL}
	16	Z_{161}^{DD}	...	Z_{1616}^{DD}	Z_{161}^{DJ}	...	Z_{1616}^{DJ}	Z_{161}^{DL}	...	Z_{1616}^{DL}
J	1	Z_{11}^{JD}	...	Z_{116}^{JD}	Z_{11}^{JJ}	...	Z_{116}^{JJ}	Z_{11}^{JL}	...	Z_{116}^{JL}
	16	Z_{161}^{JD}	...	Z_{1616}^{JD}	Z_{161}^{JJ}	...	Z_{1616}^{JJ}	Z_{161}^{JL}	...	Z_{1616}^{JL}
Lain-lain	1	Z_{11}^{LD}	...	Z_{116}^{LD}	Z_{11}^{LJ}	...	Z_{116}^{LJ}	Z_{11}^{LL}	...	Z_{116}^{LL}
	16	Z_{161}^{LD}	...	Z_{1616}^{LD}	Z_{161}^{LJ}	...	Z_{1616}^{LJ}	Z_{161}^{LL}	...	Z_{1616}^{LL}

Matriks diagonal Z merupakan matriks transaksi antar sektor dalam satu wilayah yang sama. Misalnya ZDD yang merupakan matriks transaksi antar sektor di Sulawesi Tengah. Sedangkan matriks off-diagonal Z merupakan matriks transaksi antar sektor antara suatu daerah dengan daerah lainnya. Misalnya matriks ZJD yang merupakan matriks transaksi antara sektor Sulawesi Tengah dan Maluku Utara, di mana Sulawesi Tengah sebagai produsen dan Maluku Utara sebagai konsumen. Sebagai catatan tambahan, matriks off-diagonal ini tidak harus berupa matriks persegi karena bisa saja jumlah sektor pada suatu wilayah berbeda dengan wilayah lainnya.

Selain menganalisis keterkaitan, dampak kebijakan terhadap *output* dan penyerapan tenaga kerja juga menjadi bagian dari studi ini. Dampak kebijakan ini mengacu pada perubahan nilai pada beberapa bagian permintaan akhir, seperti konsumsi rumah tangga (C), konsumsi pemerintah (G), investasi (I), perubahan stok (I), dan ekspor (E). Pendekatan ini memiliki kesamaan dengan kerangka pengganda Keynesian, di mana perubahan variabel eksogen pada permintaan akhir dapat mempengaruhi peningkatan *output* di semua sektor. Misalnya, kebijakan ekonomi seperti investasi dapat dialokasikan ke semua sektor atau sektor tertentu. Meskipun jumlahnya sama, dampak yang ditimbulkan akan berbeda-beda karena kekuatan dan hubungan masing-masing sektor berbeda. Studi ini menghitung dampak terhadap *output* ekonomi dan penyerapan tenaga kerja.

CELIOS menggunakan dua skenario: skenario pertama mengasumsikan fasilitas pabrik peleburan nikel melanjutkan pendekatan BAU (*Business-as-Usual*), termasuk penggunaan pembangkit listrik tenaga batubara. Skenario kedua merupakan skenario RE dan APC mengasumsikan penggunaan energi terbarukan dan penggunaan pengendali polusi udara⁶ yang lebih besar di pabrik peleburan nikel.

Untuk mengukur dampak skenario pertama (BAU) hilirisasi nikel di tiga wilayah, studi ini membuat asumsi sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan data yang dihimpun CELIOS dari berbagai sumber, termasuk data perusahaan dan BKPM, total investasi pembangunan kawasan industri pengolahan nikel mencapai Rp292 triliun (USD18,8 miliar)⁷. Asumsi yang digunakan dalam studi adalah membagi pembangunan menjadi delapan fase. Tahap pertama dan kedua, termasuk pada biaya pembebasan lahan sebesar 5%. Tahap ketiga dan keempat, 20% biayanya untuk pembangunan fasilitas fisik pabrik. Biaya kelima dan keenam sebesar 15% untuk tahap pengembangan. Tahap tujuh dan delapan memakan biaya 10% untuk tahap operasional.

⁶ Energi terbarukan (*renewable energy* - RE) dan pengendali polusi udara (*air pollution control* - APC).

⁷ Data kompilasi yang terpublikasi dari BKPM dan perusahaan kawasan industri nikel

- 2) Perkiraan waktu dalam perhitungan model adalah 15 tahun, mengingat ketersediaan pasokan bijih nikel untuk jenis tertentu dan asumsi tidak terdapat izin smelter baru yang diterbitkan di wilayah tersebut.
- 3) Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara dipilih untuk studi ini karena memiliki jumlah unit pengolahan produk turunan nikel terbanyak.
- 4) Biaya operasional pada proses hilirisasi nikel dimasukkan dalam pemodelan berdasarkan produksi tambahan⁸.
- 5) Peningkatan produksi pada industri pertambangan nikel akan menurunkan produksi pertanian hingga 2,69% berdasarkan sensitivitas antar sektor.
- 6) Di sektor perikanan, peningkatan penambangan nikel menurunkan kegiatan perikanan sebesar 0,17%.
- 7) Kenaikan biaya kesehatan akibat kegiatan smelter menurunkan konsumsi sebesar 0,75%.

Untuk skenario RE dan APC, asumsinya adalah sebagai berikut:

- 1) Investasi sebesar Rp292 triliun (USD18,8 miliar) untuk pengembangan kawasan hilirisasi nikel ini terbagi dalam delapan tahap: tahap pertama dan kedua: 5% (tahap pembebasan lahan), tahap ketiga dan keempat: 20% (pembangunan fisik tahap 1), tahap kelima dan keenam: 15% (tahap pembangunan fisik 2), tahap ketujuh dan kedelapan: 10% (tahap operasional).
- 2) Terdapat biaya operasional yang setara dengan tambahan produksi industri logam yang dihasilkan dari proyek hilirisasi nikel.
- 3) Peningkatan produksi industri pertambangan akan menurunkan produksi pertanian hingga 2,69% berdasarkan sensitivitas antar sektor.
- 4) Manfaat lingkungan yang kami ambil dari Pirmana, dkk (2021)⁹ bahwa biaya degradasi dari industri besi dan baja adalah Rp35,85 triliun (USD2,3 miliar). Kami menggunakan perhitungan ini untuk keperluan pengembangan hilirisasi nikel dengan teknologi ramah lingkungan.
- 5) Penggunaan APC (Pengendalian Polusi Udara) untuk Modal, Operasional, dan Manfaat Kesehatan

⁸ kuantitas jika merupakan fungsi dari total biaya produksi. Total Biaya Produksi = f(kuantitas). Produksi output dalam model ini termasuk harga komoditas.

⁹ Pirmana, V., Alisjahbana, A. S., Yusuf, A. A., Hoekstra, R., & Tukker, A. (2021). Environmental costs assessment for improved environmental-economic account for Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124521>

Pemodelan polusi udara

Pemodelan pada atmosfer yang dilakukan dalam studi ini dilakukan dengan mengukur dampak emisi polutan udara dari pembangkit listrik tenaga batubara (PLTU) dan pengolahan logam yang dilakukan di tiga provinsi utama yang merupakan lokasi pusat cadangan dan industri pengolahan nikel. Provinsi tersebut adalah Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara.

Studi ini menggunakan pendekatan paling umum untuk mempelajari dampak polusi udara terhadap lingkungan, ekonomi, dan kesehatan dengan mengikuti rantai sebab-akibat emisi, penyebarannya di atmosfer dan transformasi kimia, serta paparan terhadap populasi. Dampak tersebut dikuantifikasi untuk daftar fasilitas industri yang terletak di klaster atau kawasan industri yang ditentukan. Dampak dari tahun ke tahun menggambarkan laju perkembangan strategi hilirisasi nikel Indonesia di masa lalu, saat ini dan masa depan.

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan dengan:

- 1) Membangun daftar yang lengkap dari industri logam di Indonesia yang telah beroperasi dan yang akan beroperasi, khususnya di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara, guna membentuk inventaris emisi pada tingkat pabrik dan/atau klaster.
- 2) Melakukan estimasi terkait penyebaran polusi dari PLTU batubara dan pengolahan logam melalui pemodelan atmosfer.
- 3) Mengukur dampak polusi udara terhadap kesehatan dan lingkungan akibat perubahan konsentrasi ambien; dan
- 4) Menilai dampak dan risiko total dalam angka moneter dengan menggunakan metode *Cost of Illness* (COI) untuk mengkuantifikasi biaya per kasus penyakit.

Analisis dilakukan dalam *grid* spasial dengan resolusi 5x5 km, di mana dampak kesehatannya dihitung untuk setiap sel *grid*. Semua data akan diintegrasikan atau diinterpolasi terhadap resolusi ini, sesuai dengan kebutuhan.

1) Inventarisasi emisi

CREA menyusun inventarisasi emisi untuk setiap pabrik dan/atau setiap klaster dari **seluruh PLTU *captive* operasional yang didedikasikan untuk memenuhi kebutuhan listrik industri pengolahan nikel terkait dan pengolahan logam di fasilitas industri**

yang berlokasi di tiga provinsi yang dievaluasi untuk digunakan sebagai masukan utama dalam pemodelan kualitas udara.

Inventarisasi yang dikembangkan untuk **PLTU captive** mencakup informasi spesifik mengenai teknologi pembakaran dan pembangkitan, kapasitas dan lokasi pembangkit listrik, serta konsentrasi polutan dalam gas buang. Kompilasi ini juga mencakup informasi cerobong: tinggi dan diameter, kecepatan pelepasan gas buang, dan suhu gas buang. Karakteristik cerobong digunakan untuk melakukan pemodelan tinggi pelepasan asap dan penyebaran polutan yang dipengaruhi oleh kondisi termal.

Kompilasi awal yang berisi informasi tentang PLTU yang sudah berdiri, sedang dibangun, dan sedang direncanakan diambil dari database Global Coal Plant Tracker (GCPT) yang dirilis oleh Global Energy Monitor (GEM) pada bulan Juli 2023 (GEM, 2023). Informasi dasar termasuk koordinat pembangkit listrik, kapasitas pembangkit listrik, tahun mulainya beroperasi, dan status (beroperasi, sedang dibangun, diizinkan, pra-perizinan, atau diumumkan).

Pasokan listrik yang berasal dari sumber selain PLTU *captive*, tercatat dalam rilis Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian ESDM pada bulan Desember 2019 yang berjudul "[Permintaan Listrik pada Fasilitas Pengolahan Logam](#)" (ESDM, 2019). Selain PLTU yang bersifat *captive*, **generator diesel dan pembangkit captive berbahan bakar gas** juga disertakan dalam analisis dampak keseluruhan pembangkit listrik *captive*.

Inventarisasi awal kemudian diverifikasi silang dan disempurnakan dengan informasi yang dikumpulkan dari mitra lokal. Kompilasi data yang lebih lanjut kemudian dilakukan guna mendapatkan data yang tersedia mengenai data emisi PLTU yang spesifik melalui laporan resmi, dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL), standar emisi nasional, dan peraturan terkait lainnya. Data pengukuran yang tersedia mengenai konsentrasi dan volume gas buang dari PLTU-PLTU terkait, diterapkan langsung pada masing-masing pembangkit. Rata-rata dari pengukuran yang tersedia, kemudian diterapkan pada PLTU *captive* dan generator diesel lainnya yang tidak memiliki data.

Untuk PLTU *captive* dan generator diesel, laju massa emisi (E) dari polutan udara utama (SO₂, NO_x, PM) dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$E = CAP \times CF \times FGV \times FGC \quad \text{— jika volume gas buang tersedia}$$

$$E = CAP \times CF \times (HR \times SFGV) \times FGC \quad \text{— jika volume gas buang tidak tersedia}$$

di mana CAP adalah kapasitas pembangkit listrik bruto dari unit pembangkit (MW), EFF adalah efisiensi termal bruto (berdasarkan Nilai Pemanasan Rendah (LHV), dalam MJ/kg), CF adalah faktor kapasitas atau tingkat pemanfaatan (%), HR adalah laju panas yang sesuai dengan efisiensi termal produksi listrik (GJ/MWh), FGV adalah volume gas buang terukur (Nm³/GJ), SFGV adalah volume gas buang spesifik (Nm³/GJ), dan FGC adalah konsentrasi gas buang polutan (mg/Nm³).

Pelepasan merkuri dari pembakaran batubara di PLTU *captive* dihitung sebagai berikut:

$$E = \frac{CAP \times CF}{EFF} \times \frac{1}{CAL} \times C_{Hg} \times (1 - CE)$$

Di mana CAL adalah nilai kalor batubara, C_{Hg} adalah kandungan merkuri dalam batubara, dan CE adalah efisiensi pengendalian merkuri.

Berikut adalah berbagai asumsi tambahan yang diterapkan pada inventarisasi emisi pembangkit *captive*;

- PLTU *captive* diasumsikan beroperasi pada tingkat pemanfaatan hingga 80%. Pengecualian diterapkan pada generator diesel yang digunakan dalam fasilitas yang juga memiliki jenis pembangkit listrik *captive* lain dan/atau memiliki koneksi ke jaringan PLN. Dalam kasus ini, generator diesel diasumsikan beroperasi sebagai generator cadangan dengan tingkat pemanfaatan 15%.
- Emisi dari pembangkit listrik tenaga gas yang terhubung dengan pabrik baja terintegrasi, dalam studi ini, dihitung sebagai bagian dari emisi pembuatan baja, mengingat pembangkit tersebut menggunakan gas yang merupakan produk sampingan dari proses tersebut.
- Untuk PLTU *captive*, nilai laju panas yang diperkirakan dalam GCPT GEM berdasar pada ukuran, jenis, dan usia pembangkit. Asumsi serupa yang digunakan pada GCPT juga diterapkan pada pembangkit yang tidak termasuk dalam database tersebut.
- Untuk generator diesel, laju panas ditetapkan sebesar 10,29 GJ/MWh untuk generator diesel, setara dengan efisiensi termal sebesar 35%.
- SFGV sebesar 379 Nm³/GJ (dikoreksi pada 7% oksigen) digunakan untuk PLTU *captive*, dihitung sebagai rata-rata sampel batubara Indonesia dalam Inventaris Kualitas Batubara Dunia USGS (USGS, 2019).
- SFGV sebesar 315 Nm³/GJ digunakan untuk generator diesel *captive*, sebagaimana direkomendasikan dalam perhitungan emisi oleh EURELECTRIC dan VGB (EURELECTRIC dan VGB, 2010).

- Selain data yang tersedia dari dokumen EIA, informasi terkait FGC yang dikumpulkan melalui studi CREA dengan IESR pada 2023, "[Manfaat Kesehatan dari Transisi Energi yang Adil dan Penghapusan Batubara di Indonesia](#)", yang diterapkan pada armada batubara *captive*, juga digunakan sebagai masukan. Informasi yang tersedia digeneralisasi bagi jenis pembangkit listrik yang relevan, guna menciptakan kategori yang terpisah untuk pembangkit-pembangkit kecil (<100MW), pembangkit baru (yang dioperasikan sejak 2015), dan pembangkit yang dilengkapi dengan perangkat kontrol emisi untuk polutan SO₂ dan NO_x.
- Data kandungan merkuri dalam batubara yang digunakan sebagai sumber bahan bakar di 47 PLTU di Indonesia diperoleh dari survei terkait emisi merkuri nasional dari PLTU di Indonesia (BCRC-SEA, 2017). Efisiensi pengendalian merkuri didasarkan pada nilai-nilai spesifik bagi jenis batubara dan teknologi pengendalian polutan udara yang tercantum dalam UNEP (2017) Mercury Toolkit.

Inventaris yang dikembangkan untuk fasilitas individu dan/atau klaster terkait industri logam sebagai **sumber titik di mana pengolahan logam dilakukan** mencakup informasi tentang produk komoditas logam yang dikelompokkan berdasarkan jenis, kandungan, tingkat, kapasitas masukan dan keluaran pemrosesan, teknologi pemrosesan, tahun operasi, kemajuan konstruksi saat ini atau yang terencana, lokasi, dan kapasitas listrik berdasarkan sumbernya. Informasi cerobong, yaitu tinggi dan diameter cerobong, kecepatan pelepasan gas buang, dan suhu juga dikumpulkan untuk memodelkan tinggi pelepasan asap dan kenaikan termal polutan.

Dalam upaya menyusun daftar lengkap dari semua fasilitas terkini yang akan dievaluasi dalam studi ini, CREA dan CELIOS mengacu pada berbagai sumber yang relevan, yang mencakup kompilasi informasi dari mitra lokal, pengumuman publik dan rilis media, serta laporan resmi dari lembaga pemerintah dan perusahaan yang terkait.

Di antara sejumlah sumber berharga lainnya, sebagian besar informasi dasar dari fasilitas pengolahan logam yang ada, sedang dibangun, dan direncanakan diperoleh dari referensi berikut;

- Rilis Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara ESDM bulan Desember 2019 berjudul "[Kebutuhan Tenaga Listrik Fasilitas Pemurnian](#)" (ESDM, 2019),
- Rilis Kementerian ESDM tahun 2021 bertajuk "Grand Strategy Mineral dan Batubara, Arah Pengembangan Hulu dan Hilir Mineral dan Batubara Utama Menuju Indonesia Maju" (ESDM, 2021),
- Kapasitas produksi dan jenis komoditas perusahaan, yang dipublikasikan oleh Kementerian Perindustrian dalam database [Daftar Inventarisasi Barang/Jasa](#)

[Produksi Dalam Negeri](#) yang ditetapkan dalam Program Peningkatan Penggunaan Produk Dalam Negeri (P3DN) (Kementerian Perindustrian, n.d.),

- Daftar proyek smelter nikel di Indonesia yang dimuat dalam artikel berjudul “[Wajah Industri Nikel Saat Ini](#)” yang dirilis pada September 2022 (Wicaksono, 2022).

Inventarisasi data tersebut kemudian diverifikasi silang dan dilengkapi dengan data emisi yang dikumpulkan dari laporan resmi, dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL), standar emisi nasional, dan peraturan terkait lainnya. Data pemantauan secara rinci diperoleh dari Laporan Pelaksanaan Rencana Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan (RPL-RKL), yang meliputi periode Januari s/d Juni 2021 untuk PT Trimegah Bangun Persada yang berlokasi di Pulau Obi, Maluku Utara, dan periode Juli s/d Desember 2021 untuk PT Indonesia Morowali Industrial Park beserta penyewa atau *tenant* lainnya yang beroperasi di Morowali, Sulawesi Tengah.

Untuk menghitung emisi yang dilepaskan dari fasilitas yang memproduksi nikel dan besi & baja, CREA mengacu pada pengukuran emisi yang tersedia, yang kemudian digunakan sebagai proksi dalam menghitung total volume gas buang per ton kapasitas produksi dan rata-rata konsentrasi polutan dalam gas buang yang ditimbang berdasarkan aliran gas buang. Hal ini juga diterapkan terhadap fasilitas lainnya yang tidak dilengkapi dengan data pengukuran. Perlu dicatat bahwa aliran gas buang diperkirakan rendah karena pengukuran hanya mencakup titik pelepasan utama.

Laju massa emisi (E) polutan udara utama (SO_2 , NO_x , PM) dari proses pengolahan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$E = C \times FGV \times FGC$$

Di mana C adalah kapasitas produksi (ton), FGV adalah volume gas buang terukur atau rata-rata dari pengolahan logam (Nm^3/GJ), dan FGC adalah konsentrasi gas buang terukur atau rata-rata dari polutan (mg/Nm^3).

Asumsi tambahan yang diterapkan pada inventarisasi emisi pengolahan logam tercantum di bawah ini;

- Karena pengukuran konsentrasi gas buang hanya tersedia untuk total PM , pembagian PM_{10} dan $PM_{2.5}$ dilakukan dengan menggunakan rasio faktor emisi yang dipublikasikan di sumber-sumber berikut,

- [Buku Panduan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara EMEP/EEA 2019](#) yang diterbitkan oleh Badan Lingkungan Eropa (EEA) dan Program Pemantauan dan Evaluasi Eropa (EMEP),
- Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (EPA) [AP-42: Kompilasi Faktor Emisi Udara, Edisi Kelima, Volume I Bab 11: Industri Produk Mineral, 11.19.2 Pengolahan Batu Hancur dan Pengolahan Mineral Bubuk](#), Pengukuran Faktor Emisi PM₁₀ dan PM_{2.5} di Pabrik Penghancur Batu (EPA, 2003),
- [Panduan Teknik Estimasi Emisi untuk Pemekatan, Peleburan dan Pemurnian Nikel](#) oleh Environment Australia, untuk emisi bocor PM₁₀ dari penanganan dan penggilingan bijih dan produk (Environment Australia, 1999).
- Untuk fasilitas yang memproduksi logam selain nikel dan besi & baja, faktor emisi EMEP/EEA per ton *output* ditetapkan sebagai acuan. Daftar referensi tercantum sebagai berikut;
 - [Buku Panduan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara EMEP/EEA 2019](#) yang diterbitkan oleh Badan Lingkungan Eropa (EEA) dan Program Pemantauan dan Evaluasi Eropa (EMEP),
 - 2.C.3 Produksi aluminium, produksi aluminium primer (EMEP/EEA, 2019a),
 - 2.C.2 Produksi ferroalloy (EMEP/EEA, 2019b),
 - 1.A.1.a Produksi listrik dan panas untuk umum, Tenaga listrik untuk umum - Turbin gas, Bahan bakar gas (EMEP/EEA, 2019c),
 - 1.A.1.a Produksi listrik dan panas untuk umum, Tenaga listrik untuk umum - Turbin gas, Minyak gas (EMEP/EEA, 2019d).
 - Pengecualian diterapkan pada fasilitas yang beroperasi dengan pembangkit listrik berbahan bakar gas, yang menerapkan faktor emisi merkuri dari *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases* UNEP, yang merupakan faktor input default untuk merkuri dalam berbagai kualitas gas alam (UNEP, 2023).
- Untuk fasilitas produksi logam yang faktor emisi PM_{2.5} tidak tersedia, nilai yang ditetapkan adalah rasio median PM_{2.5} EMEP/EEA terhadap total faktor emisi PM yang tersedia untuk logam dengan faktor emisi yang berbeda.
- Komoditas yang teridentifikasi dalam inventarisasi tersebut antara lain nikel yaitu Nikel Matte (Ni Matte, ≥ 70%Ni), Nikel (II) oksida (NiO, ≥ 70%Ni), *Mixed Hydroxide Precipitate* (MHP, ≥ 25%Ni), Feronikel (FeNi, >10%Ni), dan Nickel Pig Iron (NPI, ≥ 4%Ni), besi & baja yaitu lempengan baja tahan karat dan baja tahan karat canai dingin, dan aluminium.

- Rasio emisi pengolahan antar komoditas nikel, khususnya antara NPI dan FeNi, ditentukan berdasarkan konsumsi energi primer dan emisi gas rumah kaca dari produk peleburan nikel yang diterbitkan dalam Wei *et al.* (2020) dan Dokumen Referensi Teknik Terbaik yang Tersedia (BAT) untuk Industri Logam Non-Besi dari Pusat Penelitian Gabungan Komisi Eropa pada tahun 2017.

Tabulasi seluruh *input* dan asumsi yang digunakan untuk menyusun inventarisasi emisi dalam studi ini disajikan dalam Lampiran A1.

2) Pemodelan atmosfer

Pada Gambar 4, terdapat sebaran total 73 perusahaan yang dievaluasi dalam studi ini, meliputi fasilitas pengolahan logam dan pembangkit listrik *captive*. Situs-situs tersebut dikelompokkan menjadi 35 cluster.



Gambar 4. Lokasi titik yang dipetakan dari fasilitas yang dievaluasi di tiga provinsi

Tiga kategori ketinggian pelepasan, yaitu 30 m, 60 m, dan 120 m ditentukan untuk model berdasarkan pengukuran dari citra satelit. Ketinggian pelepasan “sedang” atau 60 m yang mendominasi total emisi dimodelkan untuk semua cluster. Untuk mencakup pelepasan “rendah” dan “tinggi”, CREA memodelkan pelepasan dari ketinggian-ketinggian ini dari cluster tunggal terbesar. Kami juga mengembangkan model regresi untuk memprediksi konsentrasi dari pelepasan “rendah” dan “tinggi” berdasarkan hasil simulasi dari

pelepasan “sedang” dan jarak dari sumber. Hal ini mempunyai nilai *goodness-of-fit* atau nilai uji kelayakan yang memuaskan yaitu *R-squared* di atas 90%.

CREA mensimulasikan konsentrasi polutan udara menggunakan model dispersi udara CALPUFF, versi 7 (Exponent, 2015). CALPUFF adalah model standar industri yang banyak digunakan untuk dampak kualitas udara jangka panjang dari sumber titik. Model ini telah dievaluasi secara ekstensif oleh Badan Perlindungan Lingkungan AS, bersifat open-source, dan didokumentasikan sepenuhnya. CALPUFF menghitung transportasi atmosfer, dispersi, transformasi kimia, pengendapan polutan, dan peningkatan konsentrasi permukaan tanah yang dihasilkan yang dikaitkan dengan sumber emisi yang diteliti. Transformasi kimia NO menjadi NO₂, serta SO₂ dan NO₂ menjadi PM_{2.5}, dihitung menggunakan modul kimia ISORROPIA di CALPUFF.

Konsentrasi latar belakang dari oksidan (ozon, ammonia, hidrogen peroksida) diambil dari simulasi menggunakan model atmosfer global Geos-Chem dengan jaringan bertumpuk untuk Asia Tenggara (Kopplitz *et al.*, 2017). Data masukan meteorologi tahun 2021 dihasilkan dari model *Weather Research Forecasting* (WRF) (Skamarock *et al.*, 2008), versi 4.2.2. WRF dibentuk dengan 33 tingkat vertikal dan dua grid jaringan bertumpuk.

Sarang induk memiliki resolusi grid 60 km dan membentang sekitar 12.000 km pada arah timur-barat dan 4.600 km pada arah utara-selatan. Sarang bagian dalam memiliki resolusi grid 12 km, membentang sekitar 4.000 km di timur-barat dan 2.000 km di arah utara-selatan. Data penggunaan lahan diperoleh dari Badan Antariksa Eropa (2018), dan data ketinggian medan diperoleh dari kumpulan data resolusi tinggi NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Farr *et al.*, 2007).

Domain induk dan domain dalam menggunakan teknik bersarang dua arah yang memastikan interaksi dinamis di antara keduanya. Simulasi WRF menggunakan kondisi batas awal dan lateral dari kumpulan data Analisis Ulang Sistem Prakiraan Iklim (CFSR) Pusat Nasional untuk Prediksi Lingkungan (NCEP) (Saha *et al.*, 2014) dari Administrasi Kelautan dan Atmosfer Nasional (NOAA), menghasilkan tiga dimensi, data meteorologi per jam yang mencakup satu tahun kalender penuh pada tahun 2021. Untuk penilaian konsentrasi polutan rata-rata tahunan, emisi diasumsikan konstan sepanjang tahun.

3) Penilaian dampak kesehatan dan lingkungan

Dalam studi ini, CREA menggunakan kerangka penilaian dampak kesehatan yang terperinci dan dapat diterapkan secara global berdasarkan ilmu pengetahuan terkini

untuk memperkirakan dampak polusi udara terhadap kesehatan masyarakat. Titik berat dari analisis dampak ini terdapat pada data insiden yang tersedia pada tingkat nasional dari kumpulan data global, di mana data tersebut memiliki relevansi tinggi terhadap biaya pelayanan kesehatan dan produktivitas tenaga kerja. Acuan kesehatan ini dipilih dan diukur sedemikian rupa demi memperoleh penilaian ekonomi, yang disesuaikan dengan tingkat pengeluaran dan pendapatan di berbagai yurisdiksi.

Untuk setiap dampak kesehatan yang dievaluasi, CREA menggunakan korelasi empiris antara konsentrasi dan respons yang umum diterapkan dalam perhitungan beban kesehatan akibat polusi udara di tingkat global dalam literatur akademis yang telah melalui proses kajian rekan sejawat atau *peer review*. Buktinya cukup matang untuk diterapkan di berbagai wilayah dan tingkat paparan.

Penghitungan dampak kesehatan mengikuti perhitungan epidemiologi standar sebagai berikut:

$$\Delta cases = Pop \times \sum_{age} \left[Frac_{age} \times Incidence_{age} \times \frac{RR_{conc,age} - 1}{RR_{conc,age}} \right]$$

di mana Pop adalah total populasi di lokasi grid, age adalah kelompok usia yang dianalisis (dalam kasus fungsi respons konsentrasi yang bergantung pada usia, segmen usia 5 tahun; dalam kasus lain, total rentang usia di mana fungsi tersebut berada) berlaku), $Frac_{age}$ adalah fraksi populasi yang termasuk dalam kelompok umur yang dianalisis, $Incidence_{age}$ adalah kejadian dasar dari kondisi kesehatan yang dianalisis, dan $conc$ adalah konsentrasi polutan, dengan $conc_{base}$ mengacu pada konsentrasi dasar (konsentrasi lingkungan saat ini). $RR_{(conc,age)}$ adalah fungsi yang memberikan rasio risiko hasil kesehatan yang dianalisis pada konsentrasi tertentu untuk kelompok umur tertentu dibandingkan dengan udara bersih. Dalam kasus fungsi respons konsentrasi log-linear dan tidak spesifik usia, fungsi RR menjadi:

$$RR(c) = [RR_0 \times c] - [c_0 \times \Delta c_0], \text{ when } c > c_0$$

$RR(c) = 1$ sebaliknya, di mana RR_0 adalah rasio risiko yang ditemukan dalam penelitian epidemiologi, Δc_0 adalah perubahan konsentrasi yang diacu oleh RR_0 , dan C_0 adalah asumsi konsentrasi tidak membahayakan (secara umum, konsentrasi terendah yang ditemukan dalam data penelitian).

Data jumlah penduduk dan struktur umur penduduk didapatkan dari hasil *Global Burden of Disease tahun 2019* (Global Burden of Disease, 2020), yang didistribusikan oleh Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (IHME, 2020). Distribusi spasial populasi di setiap kota dan negara, seperti yang diproyeksikan pada tahun 2020, didasarkan pada *Gridded*

Population of the World v4 dari *Center for International Earth Science Information Network* (CIESIN) (CIESIN, 2018). Karena Pedoman Kualitas Udara WHO tahun 2021 (WHO, 2021) kini mengakui bahaya kesehatan akibat NO_2 pada konsentrasi rendah, kami menerapkan fungsi risiko kematian untuk NO_2 yang mencakup dampak hingga $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Huangfu dan Atkinson, 2020).

Kematian orang dewasa diperkirakan menggunakan fungsi risiko yang dikembangkan oleh Burnett dkk. (2018), sebagaimana diterapkan oleh Lelieveld dkk. (2019). Kematian anak-anak di bawah usia lima tahun akibat infeksi saluran pernapasan bawah yang terkait dengan polusi $\text{PM}_{2.5}$ dinilai menggunakan fungsi risiko *Global Burden of Disease* untuk penyakit saluran pernapasan bawah (IHME, 2020). Data penyebab spesifik untuk semua kematian diambil dari hasil proyek *Global Burden of Disease* tahun 2019 (IHME, 2020).

Pemodelan dampak kesehatan memproyeksikan dampak paparan polutan dalam rentang waktu yang dipelajari. Beberapa dampak kesehatan bersifat langsung, seperti gejala asma yang memburuk dan hilangnya hari kerja, sedangkan dampak kronis lainnya cenderung memiliki masa laten hingga beberapa tahun. Korelasi konsentrasi-respons kunjungan ruang gawat darurat karena asma dan ketidakhadiran kerja didasarkan pada penelitian yang mengevaluasi variasi harian dalam konsentrasi polutan dan dampak kesehatannya.

Korelasi konsentrasi-respons tersebut lalu diterapkan pada perubahan konsentrasi rata-rata tahunan. Konsentrasi dasar rata-rata tahunan $\text{PM}_{2.5}$ diambil dari van Donkelaar dkk. (2021) dan NO_2 dari Larkin dkk. (2017). Karena konsentrasi SO_2 yang tidak membahayakan sangat rendah dan fungsi risikonya linier terhadap konsentrasi latar belakang, maka data konsentrasi latar belakang SO_2 tidak dibutuhkan.

Rangkuman seluruh parameter polusi udara-kesehatan dan data yang digunakan dalam memperkirakan dampak fisik disajikan pada Lampiran A2, Tabel A2a. Untuk memahami dampak kesehatan di masa depan, studi ini memperhitungkan proyeksi perubahan populasi, struktur usia penduduk, dan kematian berdasarkan kelompok umur, berdasarkan *World Population Prospects Medium Variant* tahun 2019 dari United Nations Development Programme (UNDP). Hal ini mempertimbangkan perkiraan penurunan angka kematian bayi pada awal dan peningkatan kematian dini akibat penyakit kronis pada orang lanjut usia sebagai bagian dari populasi dan transisi epidemiologi serta peningkatan pelayanan kesehatan.

4) Penilaian ekonomi terhadap dampak kesehatan

Polusi udara menyebabkan naiknya risiko penyakit pernafasan dan kardiovaskular serta komplikasi yang terkait dengannya. Hal ini akan secara signifikan menurunkan kualitas

hidup dan produktivitas ekonomi sekaligus meningkatkan biaya perawatan kesehatan. Kerugian ekonomi akibat pencemaran udara dihitung menggunakan metode yang diuraikan oleh Myllyvirta (2020). Penilaian kematian diperbarui sesuai dengan nilai yang diperoleh oleh Viscusi dan Masterman (2017) berdasarkan data pasar tenaga kerja, dengan perhatian khusus pada penerapannya di negara berpendapatan menengah dan rendah.

Proyek Beban Penyakit Global telah mengkuantifikasi tingkat kerugian yang disebabkan oleh masing-masing penyakit menjadi ‘bobot disabilitas’ yang dapat digunakan untuk membandingkan biaya berbagai penyakit. Kerugian ekonomi akibat disabilitas dan penurunan kualitas hidup dinilai berdasarkan ‘bobot disabilitas’. Nilai tersebut juga dikombinasikan dengan penilaian ekonomi yang digunakan oleh regulator lingkungan hidup di Inggris (Birchby dkk., 2019) dan disesuaikan dengan pendapatan nasional bruto dalam paritas daya beli (GNI PPP) untuk Indonesia. Kematian anak-anak dihargai dua kali lipat dibandingkan kematian orang dewasa sesuai dengan rekomendasi Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (OECD, 2012).

Penilaian dampak kesehatan di masa depan didasarkan pada pemahaman bahwa tingkat diskonto sosial jangka panjang sama dengan tingkat pertumbuhan PDB jangka panjang. Dengan ini, kerugian ekonomi yang terkait dengan berbagai dampak kesehatan di masa depan dianggap akan meningkat dengan laju yang sebanding dengan PDB, sehingga menghasilkan nilai dampak kesehatan yang konstan seiring waktu. Ringkasan parameter masukan disajikan pada Lampiran A2, Tabel A2b.

Analisis tambahan dilakukan untuk memberikan estimasi terhadap potensi pengurangan dampak kesehatan yang dapat dicapai melalui instalasi Pengendalian Pencemaran Udara (*Air Pollution Control*, APC). Biaya pemasangan dan pengoperasian APC dikumpulkan dari berbagai sumber, dirangkum dalam Lampiran A3. Kami menggunakan perkiraan biaya relatif lintas negara untuk instalasi dan teknologi pengendalian polusi udara, yaitu pengendap debu elektrostatis (ESP), desulfurisasi gas buang (FGD), dan alat reduksi selektif berbasis katalis (SCR) (Ferrari dkk., 2019). Studi ini mengasumsikan bahwa adanya investasi pada APC untuk memenuhi standar yang lebih ketat, tanpa peningkatan biaya operasional dalam proses pengolahan dan pembangkitan listrik. Untuk proyeksi masa depan, kami berasumsi bahwa peningkatan biaya teknologi APC setara dengan tingkat pertumbuhan PDB rata-rata jangka panjang.

Dampak terhadap perekonomian nasional

Sejak terjadinya investasi besar-besaran dalam industri nikel di berbagai daerah, terutama di bagian timur Indonesia, sejumlah pihak mengklaim bahwa industri nikel memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. Sebagai contoh, Presiden Indonesia mengaitkan peningkatan ekspor nikel yang mencapai USD 33,8 miliar atau setara dengan Rp510 triliun sepanjang tahun 2022 sebagai bentuk pencapaian ekonomi yang positif.

Seringkali klaim dampak investasi nikel tersebut tidak mempertimbangkan berbagai faktor, misalnya dampaknya terhadap sektor pertanian dan perikanan, biaya kesehatan, dan aspek keberlanjutan. CELIOS menemukan melalui pemodelan statistik bahwa dalam skenario *business-as-usual* (BAU), industri nikel tidak selalu memiliki dampak positif dalam jangka panjang.

Dalam skenario BAU, smelter nikel menghasilkan output positif yang terpusat sekitar tahun ke-5. Fase konstruksi smelter dapat menciptakan lapangan kerja baru. Namun, proyeksi CELIOS menunjukkan bahwa karena degradasi lingkungan akibat berbagai aktivitas smelter termasuk penggunaan pembangkit listrik tenaga batubara, manfaat ekonomi diperkirakan akan menurun terutama setelah tahun ke-8, yang ditunjukkan dengan tren negatif pada tahun ke-10 dan ke-15.

Seperti yang ditunjukkan dalam analisis untuk skenario RE dan APC di bagian selanjutnya (Tabel 3), implementasi energi berkelanjutan atau energi terbarukan (ET) dan pengendali polusi udara (PPU), berpotensi mengurangi dampak negatif dari kerusakan ekologi dan dampak kesehatan dari aktivitas smelter, meskipun dalam tahun-tahun berikutnya kerugian ekonomi dari eksternalitas negatif mungkin melebihi efek penyeimbang dari kedua langkah mitigasi tersebut.

Singkat kata, bauran energi yang lebih didorong oleh ET akan mengurangi kebutuhan terhadap pembangkit listrik tenaga batubara, sehingga emisi lebih rendah. Meskipun demikian, instalasi ET harus memperhitungkan risiko "*energy sprawl*". Perancangan dan implementasi teknologi APC juga akan menurunkan risiko buruknya kondisi kerja dan penurunan kualitas udara di sekitar wilayah smelter sehingga mengurangi biaya kesehatan masyarakat di masa depan.

Tabel 2. Ringkasan dampak ekonomi nasional industri nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara dalam skenario BAU

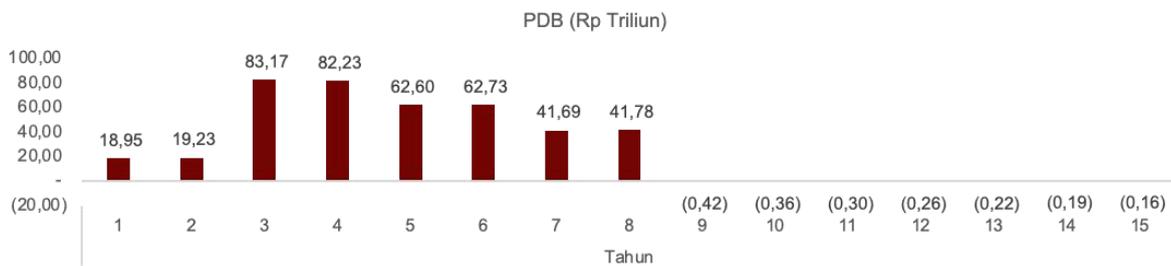
Indikator	Unit	Tahun pertama	Tahun ke 5	Tahun ke 10	Tahun ke 15
Total Dampak Berganda Ekonomi	Triliun Rupiah	19.03	62.83	-0.35	-0.15
PDB	Triliun Rupiah	18.95	62.6	-0.36	-0.16
Surplus Usaha	Triliun Rupiah	14.41	46.7	-0.22	-0.1
Upah Pekerja	Triliun Rupiah	4.28	15.07	-0.13	-0.06
Penyerapan Tenaga Kerja	Jumlah orang	-1,309	101,752	-7,604	-3,832
Penyerapan Tenaga Kerja di Sulawesi Tengah	Jumlah orang	-4,429	52,710	-3,121	-1,144
Penyerapan Tenaga Kerja di Sulawesi Tenggara	Jumlah orang	-2,733	18,931	-3,556	-2,164
Penyerapan Tenaga Kerja di Maluku Utara	Jumlah orang	3,205	10,460	-243	-218
Indeks Williamson		0.74	0.73	0.72	0.72

Tabel 3. Ringkasan dampak ekonomi nasional industri nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara dalam skenario RE dan APC:

Indikator	Unit	Tahun Pertama	Tahun ke 5	Tahun ke 10	Tahun ke 15
Total Dampak Berganda Ekonomi	Triliun Rupiah	37.95	88.68	31.07	7.3
PDB	Triliun Rupiah	35.01	85.21	27.78	6.91
Business Surplus	Triliun Rupiah	26.80	60.12	15.52	4.99
Upah Pekerja	Triliun Rupiah	7.84	24.08	12.05	1.25
Penyerapan Tenaga Kerja	Jumlah orang	62,853	249,608	184,056	21,654
Penyerapan Tenaga Kerja di Sulawesi Tengah	Jumlah orang	19,404	101,599	53,857	8,895
Penyerapan Tenaga Kerja di Sulawesi Tenggara	Jumlah orang	14,493	94,314	63,136	1,200
Penyerapan Tenaga Kerja di Maluku Utara	Jumlah orang	3,205	10,460	-243	-218
Indeks Williamson		0.74	0.73	0.72	0.72

Produk Domestik Bruto (PDB)

Berdasarkan hasil pemodelan CELIOS, kontribusi PDB dari aktivitas smelter nikel terhadap PDB nasional mencapai Rp83,17 triliun (USD5,36 miliar) dari tahap konstruksi pabrik dan fasilitas pendukung industri. Pada tahap ini, tenaga kerja dari berbagai daerah akan diserap untuk mendukung kegiatan dalam fase awal pembangunan smelter.



Gambar 5. Dampak PDB Indonesia dari industri nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara dengan skenario *business-as-usual* (BAU)

Namun, dampak ekonomi diperkirakan akan menurun pada tahap operasional terutama karena dampak negatif terhadap sektor perikanan. Skenario yang mendorong dampak negatif tersebut termasuk pencemaran pantai dan penggunaan pembangkit listrik tenaga batubara yang menghasilkan beban ekonomi dari polusi udara dan lingkungan kepada masyarakat sekitar.

Selanjutnya, aktivitas industri nikel dapat mengakibatkan penurunan PDB mulai tahun ke-9 atau setelah fase operasional pada tahun ke-7 dan ke-8 karena dampak negatifnya terhadap sektor lain (terutama pertanian, kehutanan, dan perikanan) melalui deforestasi, degradasi lahan, penurunan ekosistem air, dan hilangnya biodiversitas.



Gambar 6. Dampak PDB Indonesia dari industri nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara dengan skenario RE dan APC

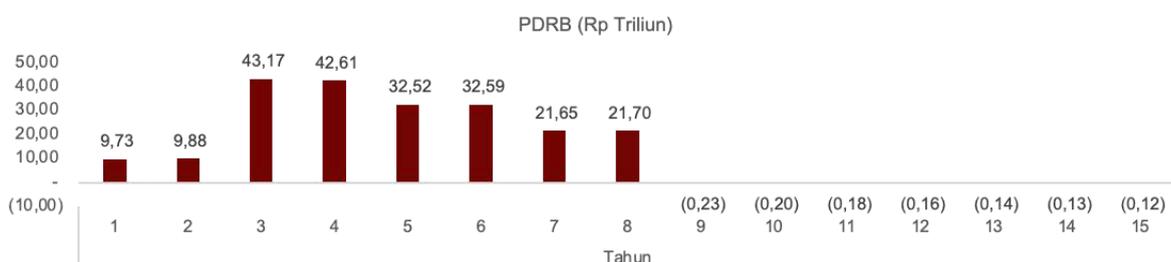
Di sisi lain, penggunaan RE dan APC dapat mengurangi dampak negatif smelter nikel terhadap daerah sekitarnya (misalnya melalui mitigasi polusi udara dan emisi karbon), meskipun pertumbuhan inkremental tetap terjadi terutama sebelum tahun ke-9 dan pada periode setelahnya menurun secara bertahap.

Dampak positif sebelum tahun ke-9 masih akan terjadi terutama dari penyerapan tenaga kerja dan kegiatan untuk mendukung konstruksi smelter, sedangkan penurunan dampak PDB setelahnya akan didorong terutama oleh kerusakan lingkungan dan menurunnya stabilitas pasokan bijih nikel dari hasil operasi smelter nikel.

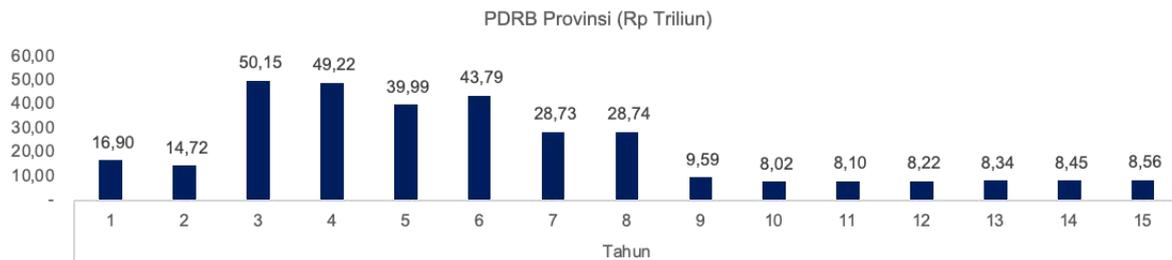
Meskipun dampak pengimbang yang mungkin dari RE dan APC, hasil model ini menunjukkan bahwa bahkan dengan langkah mitigasi, output negatif dari industri nikel secara erat terkait dengan dampak lingkungan dan penipisan sumber daya. Analisis dari asosiasi pertambangan mengungkapkan bahwa cadangan bijih nikel kelas tinggi Indonesia hanya dapat bertahan 7 hingga 10 tahun (APNI, 2023). Diproyeksikan bahwa konsumsi saprolit dalam jangka pendek akan meningkat menjadi 150 juta ton dan akan meningkat menjadi 400 juta ton pada tahun 2026.

Dampak industri nikel terhadap perekonomian lokal di Sulawesi Tengah

Secara khusus untuk Sulawesi Tengah, dampak PDB regional dari operasi pabrik pengolahan nikel sejalan dengan efek PDB yang terkumpul dari aktivitas industri: peningkatan PDB mencapai puncaknya pada tahun ke-3 dan ke-4 dan secara kumulatif positif dalam 8 tahun pertama, diikuti oleh PDB negatif pada tahun-tahun berikutnya.



Gambar 7. Dampak Produk Domestik Bruto (PDB) wilayah industri nikel di Sulawesi Tengah dalam skenario BAU



Gambar 8. Dampak Produk Domestik Bruto (PDB) wilayah industri nikel di Sulawesi Tengah dalam skenario RE dan APC

Berdasarkan pembedahan dampak PDB secara keseluruhan, tren di wilayah ini dapat dijelaskan oleh peningkatan signifikan dalam aktivitas pertambangan dan penggalian serta aktivitas pendukungnya dalam beberapa tahun pertama pengembangan dan operasi pabrik pengolahan nikel, tetapi terjadi penurunan bersamaan dalam nilai tambah dari sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan meniadakan peningkatan PDB tersebut.

Tabel 4. Dampak sektoral pada tahun pertama (fase konstruksi) di Sulawesi Tengah dengan skenario BAU dan skenario RE dan APC

Sektor Ekonomi	Penambahan PDRB (Rp Miliar)	Penambahan PDRB dengan RE dan APC (Rp Miliar)
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	-1.094	-1.037
Pertambangan dan Ekskavasi	9.588	12.336
Industri Pengolahan	41,17	3.631
Pengadaan Listrik dan Gas	161,09	189
Penyediaan Air, Pengelolaan Limbah, dan Pemulihan Limbah	20,26	26,09
Konstruksi	129,79	157,4
Perdagangan Besar dan Eceran; Perbaikan Mobil dan Sepeda Motor	122,87	236,8

Transportasi dan Penyimpanan	150,99	234,32
Penyediaan Akomodasi dan Makanan dan Minuman	31,05	51,62
Informasi dan Komunikasi	81,89	131,63
Jasa Keuangan dan Asuransi	320,36	431,30
Properti	73,48	105,65
Jasa Perusahaan	56,50	129,87
Administrasi Pemerintah, Pertahanan, dan Jaminan Sosial Wajib	22,47	35,64
Jasa Pendidikan	5,94	10,91
Jasa Kesehatan dan Aktivitas Sosial	2,63	203,72
Jasa Lainnya	12,05	21,52
Total	9.726	16.896

Pada tahun ke-9, kegiatan pertambangan dan penggalian akan melambat secara signifikan, namun degradasi lingkungan masih akan berlanjut dan penurunan lebih lanjut dalam sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan akan semakin terjadi. Akibatnya, dampak PDB dari smelter nikel akan menjadi negatif mulai dari periode ini dan seterusnya. Lebih buruk lagi, karena ekosistem yang telah rusak umumnya sulit untuk dipulihkan (dan dalam banyak kasus tidak dapat dipulihkan), output negatif dapat berlanjut hingga periode-periode selanjutnya bahkan setelah tahun ke-15.

Tabel 5. Dampak sektoral tahun ke-9 di Sulawesi Tengah dengan skenario BAU dan skenario RE dan APC

Sektor Ekonomi	Penambahan PDRB (Rp Miliar)	Penambahan PDRB dengan RE dan APC (Rp Miliar)
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	-223,26	107,36
Pertambangan dan Ekskavasi	6,5	2.555,52
Industri Pengolahan	5,62	3.503,73
Pengadaan Listrik dan Gas	-0.57	79,18
Penyediaan Air, Pengelolaan Limbah, dan Pemulihan Limbah	-0.031	12,56
Konstruksi	-3,75	55,82
Perdagangan Besar dan Eceran; Perbaikan Mobil dan Sepeda Motor	-7,068	290,81
Transportasi dan Penyimpanan	-0.999	149,53
Penyediaan Akomodasi dan Makanan dan Minuman	-0.265	100,36
Informasi dan Komunikasi	-0.687	171,91
Jasa Keuangan dan Asuransi	-5,92	227,26
Properti	-0.189	81,31
Jasa Perusahaan	-0.209	289,76
Administrasi Pemerintah, Pertahanan, dan Jaminan Sosial Wajib	-0.073	42,27

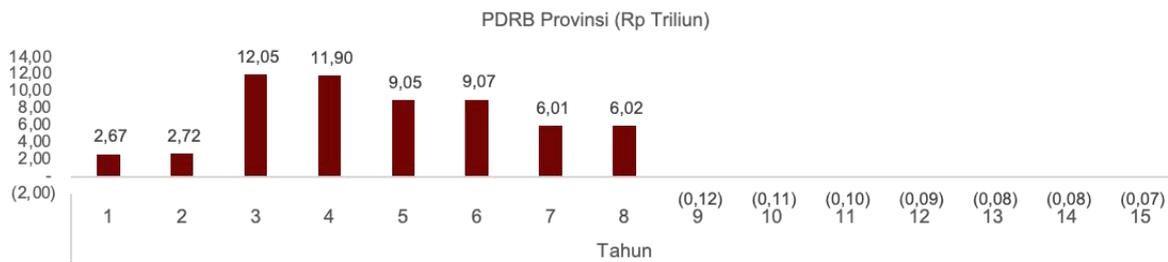
Jasa Pendidikan	-0.055	28,02
Jasa Kesehatan dan Aktivitas Sosial	-0.396	1,864,79
Jasa Lainnya	-0.276	26,01
Total	-231.635	9.586,28

Dampak industri nikel terhadap perekonomian lokal di Sulawesi Tenggara

Dampak negatif jangka panjang yang ekuivalen dari aktivitas nikel di Sulawesi Tenggara tercermin dalam hasil model untuk wilayah tersebut. Ini menyarankan bahwa kontribusi positif dari nikel, terutama dalam skenario BAU, hanya akan terjadi selama 8 tahun pertama.

Penurunan ekonomi berasal dari dampak negatif industri nikel terhadap sektor ekonomi lainnya di provinsi tersebut, terutama pertanian dan perikanan. Sebagai contoh, laporan dari WALHI menyoroti ancaman yang ditimbulkan bagi mata pencaharian petani lada di salah satu daerah Sulawesi. Nilai ekonomi yang dihasilkan oleh perkebunan lada, sebesar Rp3,6 triliun (USD232,26 juta) per musim/tahun, terancam oleh konsekuensi lingkungan dari kerusakan hutan hujan dan danau (WALHI Sulawesi Selatan, 2023).

Hal ini umum terjadi di daerah yang terkena ekspansi pertambangan dan industri ekstraktif yang merusak lingkungan dan menghilangkan lapangan pekerjaan masyarakat. Perubahan pekerjaan masyarakat menjadi pekerja harian perusahaan pertambangan/pekerja pengolahan nikel juga tidak sebanding dengan pekerjaan sebelumnya sebagai petani dan nelayan. Kerusakan pada ekosistem hutan dan perairan sangat merugikan ekonomi masyarakat karena mereka telah bekerja berdampingan dengan dan bergantung pada pelestarian lingkungan.



Gambar 9. Dampak PDB industri nikel Sulawesi Tenggara dalam Skenario BAU



Gambar 10. Dampak PDB industri nikel Sulawesi Tenggara dalam Skenario RE dan APC

Hubungan negatif antara pertambangan-penggalian dan pertanian-kehutanan-perikanan di Sulawesi Tenggara diperkirakan terjadi mulai dari tahun pertama pembangunan pabrik smelter nikel serta kegiatan konstruksi industri utamanya yang menyebabkan penyerapan tenaga kerja sementara dan lonjakan aktivitas pendukung.

Dampak buruk terhadap sektor pertanian-kehutanan-perikanan dimulai dari tahun pertama, khususnya muncul dari lahan dan area yang disita untuk pabrik smelter. Kehilangan lahan pertanian juga menyebabkan kehilangan pekerjaan di sektor pertanian mulai dari tahun pertama.

Antisipasi terhadap dampak destruktif dapat dilakukan dengan menerapkan skenario RE dan APC yang diikuti dengan pelaksanaan Laporan ESG (Lingkungan, Sosial dan Tata Kelola). Laporan ESG dapat membantu para pemangku kepentingan dalam mengelola risiko yang mempengaruhi aspek sosial, lingkungan, dan tata kelola. ESG dapat membantu pemerintah pusat dan daerah dalam memantau kegiatan bisnis yang dapat merugikan masyarakat dan lingkungan. Terutama masyarakat di sekitar tambang bijih, pabrik smelter, baik para petani, maupun nelayan.

Perusahaan industri nikel diharuskan untuk menerapkan standar ESG dalam mengelola risiko dan dampak negatif yang sebelumnya tidak mereka pertimbangkan. Tata kelola

industri yang berkelanjutan perlu didorong dan diterapkan secara ketat oleh pemerintah dengan menerbitkan regulasi khusus terkait kewajiban Laporan ESG, sehingga perusahaan nikel yang masuk ke Indonesia termasuk dalam kategori perusahaan yang memiliki standar yang lebih hijau dan dapat diawasi.

Tabel 6. Dampak sektoral pada tahun pertama (fase konstruksi) di Sulawesi Tenggara dengan skenario BAU dan skenario RE dan APC

Sektor Ekonomi	Penambahan PDRB (Rp Miliar)	Penambahan PDRB dengan RE dan APC (Rp Miliar)
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	-394,02	-390,1
Pertambangan dan Ekskavasi	3.031	5.144
Industri Pengolahan	2,31	2.203
Pengadaan Listrik dan Gas	1,18	13,81
Penyediaan Air, Pengelolaan Limbah, dan Pemulihan Limbah	0,249	1,34
Konstruksi	0,528	4,46
Perdagangan Besar dan Eceran; Perbaikan Mobil dan Sepeda Motor	4,71	28,94
Transportasi dan Penyimpanan	10,68	28,56
Penyediaan Akomodasi dan Makanan dan Minuman	0,252	3,31
Informasi dan Komunikasi	1,57	10,61
Jasa Keuangan dan Asuransi	2,55	12,04

Properti	1,68	4,99
Jasa Perusahaan	1,72	20,38
Administrasi Pemerintah, Pertahanan, dan Jaminan Sosial Wajib	308	2,81
Jasa Pendidikan	0,025	0,165
Jasa Kesehatan dan Aktivitas Sosial	0,045	77,01
Jasa Lainnya	-0,013	2,01
Total	2.665	7.167

Tabel 7. Dampak sektoral pada tahun ke-9 di Sulawesi Tenggara dengan skenario BAU dan skenario RE dan APC

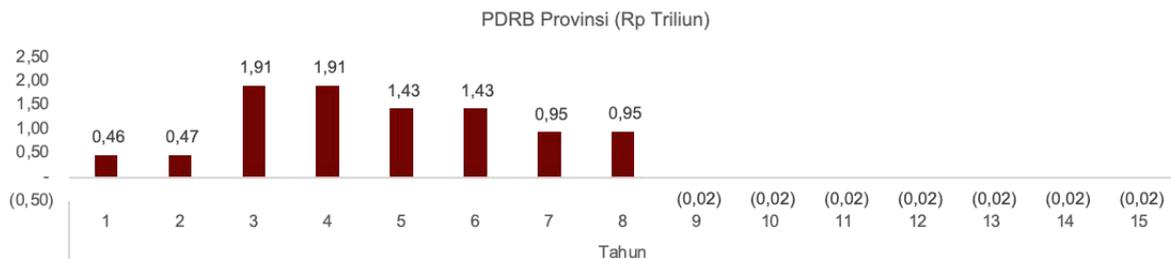
Sektor Ekonomi	Penambahan PDRB (Rp Miliar)	Penambahan PDRB dengan RE dan APC (Rp Miliar)
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	-117,41	143,47
Pertambangan dan Ekskavasi	-0,196	1.150
Industri Pengolahan	-0,247	1.423
Pengadaan Listrik dan Gas	-0,083	276,1
Penyediaan Air, Pengelolaan Limbah, dan Pemulihan Limbah	-0,033	12,57
Konstruksi	-0,647	45,11

Perdagangan Besar dan Eceran; Perbaikan Mobil dan Sepeda Motor	-1,91	378,18
Transportasi dan Penyimpanan	-0,688	181,23
Penyediaan Akomodasi dan Makanan dan Minuman	-0,029	84,22
Informasi dan Komunikasi	-0,157	190,82
Jasa Keuangan dan Asuransi	-0,806	158,09
Properti	-0,057	62,89
Jasa Perusahaan	-0,106	329,03
Administrasi Pemerintah, Pertahanan, dan Jaminan Sosial Wajib	-0,028	33,79
Jasa Pendidikan	-0,004	2,96
Jasa Kesehatan dan Aktivitas Sosial	-0,004	2.785,11
Jasa Lainnya	-0,141	27,17
Total	-122,55	7.284,4

Gagasan umum akan peluang kerja di industri nikel selalu mengadaptasi kesalahpahaman yang klasik, yakni bahwa akan terjadi perubahan dalam pekerjaan petani menjadi pekerja smelter dan oleh karenanya, perubahan pekerjaan ini akan membantu tenaga kerja lokal dan meningkatkan pendapatan rata-rata untuk masyarakat lokal. Asumsi yang salah ini menghasilkan situasi yang kompleks. Pada kenyataannya petani masih bekerja di lahan mereka, sementara tenaga kerja lokal berasal dari provinsi lain dan keberadaan smelter merupakan ancaman bagi petani lokal.

Sebagaimana yang bisa kita lihat mulai dari tahun ke-9, dampak PDB dari pabrik-pabrik smelter nikel akan menurun dan bahkan menjadi negatif untuk semua sektor terutama pertanian, kehutanan, dan perikanan. Pada tahap ini, lahan dan wilayah yang disita untuk pabrik smelter tidak lagi menghasilkan output positif karena erosi tanah; pencemaran lahan, sungai, dan laut; dan degradasi kualitas udara yang memengaruhi penduduk lokal. Terdapat bukti bagaimana kontaminasi lahan persawahan terjadi akibat limbah pabrik nikel (Arao et al., 2010).

Dampak industri nikel terhadap perekonomian lokal di Maluku Utara



Gambar 11. Dampak PDRB industri nikel di Maluku Utara dalam skenario BAU



Gambar 12. Dampak PDRB industri nikel di Maluku Utara dalam skenario RE dan APC

Skenario pertama mengenai dampak smelter nikel bagi Provinsi Maluku Utara juga menunjukkan peningkatan besar dalam PDB wilayah tersebut dalam beberapa tahun pertama, kemudian menurun setelahnya. Faktor-faktor di balik output ini tetap konsisten dengan dua wilayah sebelumnya. Pada tahap awal kegiatan smelter nikel, output PDB meningkat melalui peningkatan aktivitas di sekitar smelter, tetapi pada tahap selanjutnya

dampak positifnya berbalik arah karena dampak jangka panjang dari degradasi lingkungan dan biaya kesehatan yang harus ditanggung oleh masyarakat.

Dampak ekonomi regional menurut skenario RE dan APC lebih positif. Hal ini ditunjukkan lewat hasil model PDRB Maluku Utara yang memperlihatkan peningkatan PDB selama 15 tahun operasional smelter. Namun, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dampak positif agregat nasional terutama pada tahun ke-14 dan ke-15 tetap akan mulai mengalami penurunan.

Tabel 8. Dampak sektoral pada tahun pertama (fase konstruksi) di Maluku Utara dengan skenario BAU dan skenario RE dan APC

Sektor Ekonomi	Penambahan PDRB (Rp Miliar)	Penambahan PDRB dengan RE dan APC (Rp Miliar)
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	-15,51	-10,93
Pertambangan dan Ekskavasi	401,57	401,64
Industri Pengolahan	2,6	311,42
Pengadaan Listrik dan Gas	1,49	5,13
Penyediaan Air, Pengelolaan Limbah, dan Pemulihan Limbah	0,327	0,059
Konstruksi	0,108	0,278
Perdagangan Besar dan Eceran; Perbaikan Mobil dan Sepeda Motor	32,75	45,83
Transportasi dan Penyimpanan	22,9	32,04
Penyediaan Akomodasi dan Makanan dan Minuman	0,230	3,56
Informasi dan Komunikasi		

Sektor Ekonomi	Penambahan PDRB (Rp Miliar)	Penambahan PDRB dengan RE dan APC (Rp Miliar)
	6,64	12,46
Jasa Keuangan dan Asuransi	3,99	9,2
Properti	1,52	3,96
Jasa Perusahaan	0,708	18,97
Administrasi Pemerintah, Pertahanan, dan Jaminan Sosial Wajib	4,57	6,59
Jasa Pendidikan	0,061	0,417
Jasa Kesehatan dan Aktivitas Sosial	-0,925	47,82
Jasa Lainnya	0,456	1,31
Total	463,51	890,33

Tabel 9. Dampak sektoral pada tahun ke-9 di Maluku Utara dengan skenario BAU dan skenario RE dan APC

Sektor Ekonomi	Penambahan PDRB (Rp Miliar)	Penambahan PDRB dengan RE dan APC (Rp Miliar)
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	-13,59	81,81
Pertambangan dan Ekskavasi	-0,01	1,28

Industri Pengolahan	-0,71	3.743
Pengadaan Listrik dan Gas	-0,025	79,08
Penyediaan Air, Pengelolaan Limbah, dan Pemulihan Limbah	-0,004	5,49
Konstruksi	-0,005	3,42
Perdagangan Besar dan Eceran; Perbaikan Mobil dan Sepeda Motor	-0,614	244,78
Transportasi dan Penyimpanan	-0,251	183,09
Penyediaan Akomodasi dan Makanan dan Minuman	-0,08	73,07
Informasi dan Komunikasi	-0,115	113,58
Jasa Keuangan dan Asuransi	-0,244	103,37
Properti	-0,023	48,73
Jasa Perusahaan	-0,017	343,6
Administrasi Pemerintah, Pertahanan, dan Jaminan Sosial Wajib	-0,046	39,81
Jasa Pendidikan	-0,002	7,72
Jasa Kesehatan dan Aktivitas Sosial	-0,046	1.075,2
Jasa Lainnya	-1	18,13
Total		

	-15,16	6.165,54
--	---------------	-----------------

Analisis sektoral menunjukkan bahwa berdasarkan skenario RE dan APC, pertumbuhan PDRB yang positif akan didominasi oleh pertambangan dan penggalian, namun dengan mengorbankan beberapa sektor lain terutama pertanian, kehutanan, dan perikanan, dimulai dari tahun pertama.

Pada tahun ke-9, hasil negatif pada semua sektor dalam skenario BAU diasumsikan akan dikompensasi oleh RE dan APC dengan industri pengolahan sebagai yang mendapat manfaat terbesar, kemungkinan melalui aktivitas baru yang mendukung pendirian dan fasilitas RE dan APC. Selain itu, mengingat kebutuhan akan sumber daya tambahan untuk APC dan RE, dampak nyata pada sektor-sektor tersebut mungkin lebih tinggi dari estimasi model.

Keuntungan komersial

Keuntungan komersial pada bagian ini direpresentasikan lewat estimasi surplus bisnis. Surplus bisnis dihitung dari perbandingan pendapatan dengan biaya yang dihasilkan dari kegiatan bisnis.

Menariknya, surplus bisnis secara keseluruhan dalam skenario BAU di tingkat nasional juga konsisten dengan hasil model untuk tren PDB. Seiring berkurangnya aktivitas pertambangan dan penggalian bersama dengan sumber daya nikel yang telah habis, aktivitas pertambangan dan penggalian tidak akan lagi menghasilkan pendapatan dan arus kas tambahan setelah memasuki tahunnya yang ke-8.

Sayangnya, dikarenakan dampak perubahan lanskap dan degradasi lingkungan, surplus bisnis dari sektor lain terutama pertanian, kehutanan, dan perikanan akan menurun dan keuntungan komersial akan berkurang bahkan menjadi negatif mulai dari tahun ke-9.



Gambar 13. Surplus bisnis di tingkat nasional dengan skenario BAU



Gambar 14. Surplus bisnis di tingkat nasional dengan skenario RE dan APC

Surplus bisnis dengan menggunakan teknologi RE dan APC menunjukkan prospek yang lebih menguntungkan, serta tidak menunjukkan hasil negatif hingga tahun ke-15. Namun, mungkin saja setelah periode ini, faktor-faktor yang tidak terduga bisa muncul, seperti penurunan ekologis yang tak dapat dipulihkan. Penurunan ini dapat menyebabkan matinya sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan, yang berdampak pada kesehatan penduduk yang tinggal di dekat fasilitas smelter, sehingga mengurangi produktivitas kerja.

Lapangan kerja dan tenaga kerja

Kontribusi industri nikel dalam menciptakan lapangan pekerjaan baik dari segi jumlah pekerjaan maupun gaji merupakan faktor penting. Industri nikel dalam skenario BAU memiliki hasil yang lebih negatif dibandingkan dengan skenario RE dan APC. Dari segi lapangan kerja, semua provinsi menunjukkan penurunan yang signifikan dalam 15 tahun.

Hasil serupa juga terlihat dalam grafik total upah selama 15 tahun. Total upah dari skenario BAU cenderung turun secara drastis dan lebih kecil dibandingkan dengan skenario RE dan APC. Total upah pekerja yang dihasilkan selama 15 tahun mencapai Rp228

triliun (USD14,68 miliar). Skema penerapan APC dan peningkatan RE mampu meningkatkan jumlah upah pekerja dan mengurangi penurunan signifikan dalam upah.



Gambar 15. Penyerapan tenaga kerja dengan skenario BAU di Sulawesi Tengah



Gambar 16. Penyerapan tenaga kerja dengan skenario BAU di Sulawesi Tenggara



Gambar 17. Penyerapan tenaga kerja dengan skenario BAU di Maluku Utara

Provinsi-provinsi ini mengalami peningkatan terbesar dalam penyerapan tenaga kerja pada tahun ke-3, kemudian menurun secara drastis mulai tahun ke-9. Sulawesi Tengah, misalnya, menghasilkan nilai penyerapan tenaga kerja terbesar sebesar 66.008 orang. Kemudian, jumlah tersebut terus menurun sebanyak 1.144 orang pada tahun ke-15. Penurunan tersebut terjadi mulai dari dua tahun pertama dan dimulai pada tahun ke-9.

Provinsi Sulawesi Tenggara tidak jauh berbeda. Provinsi ini mencapai jumlah pekerja terserap terbanyak sebanyak 25.894 orang, kemudian turun menjadi negatif 2.164 pekerja pada tahun ke-15. Hal ini menjadikan Provinsi Sulawesi Tenggara sebagai yang terburuk dalam total kerugian lapangan kerja di antara provinsi-provinsi lainnya. Maluku Utara pada tahun ke-3 mencapai 14.035 orang pekerja terserap. Kemudian, jumlahnya turun secara drastis dengan berkurangnya 218 orang.

Tren ini konsisten dengan proyeksi penurunan output dari pertambangan, penggalian, dan semua sektor lainnya seiring dengan munculnya dampak eksternal negatif yang lebih nyata pada beberapa tahun kemudian.

Upah Pekerja

Skenario BAU bagi upah pekerja memperlihatkan adanya peningkatan awal dan mencapai puncaknya pada tahun ke-3, sebesar Rp19,95 triliun (USD1,29 miliar) per tahun. Namun, dalam tahun-tahun berikutnya, upah justru terus mengalami penurunan signifikan hingga hanya mencapai minus Rp60 miliar (USD3,87 juta) per tahun. Penurunan ini sangat besar karena mencapai 333 kali lipat dari pendapatan terbesar. Penurunan yang mencolok ini kemungkinan besar disebabkan oleh berkurangnya permintaan akan tenaga kerja karena dampak negatif yang mulai berpengaruh pada berkurangnya output atas semua sektor ekonomi dan produktivitas tenaga kerja yang menurun akibat beban biaya kesehatan.



Gambar 18. Upah pekerja dengan skenario BAU di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

Skenario RE dan APC memberikan hasil yang relatif lebih positif dibanding skenario BAU, baik secara nominal maupun tren. Secara nominal, skenario ini menghasilkan upah pekerja yang lebih besar mulai tahun awal penerapan, sebesar Rp7,84 triliun (USD505,29 juta) dibandingkan dengan Rp4,28 triliun (USD276,13 juta) dalam skenario BAU. Jumlah upah terbesar mencapai Rp27,57 triliun (USD1,78 miliar) per tahun, 31% lebih banyak dari skenario BAU.

Dari sisi tren, meskipun pada akhirnya juga mengalami penurunan, skenario RE dan APC mampu menghasilkan jumlah upah pekerja yang lebih besar setiap tahunnya. Bahkan, skenario RE dan APC sama sekali tidak memberikan hasil negatif selama 15 tahun. Tren dalam skenario RE dan APC kemungkinan besar dipengaruhi oleh produktivitas kerja yang lebih baik akibat mitigasi polusi udara. Namun demikian, pada tahun ke-14 dan ke-15 dampak mitigasinya kemungkinan akan menurun.

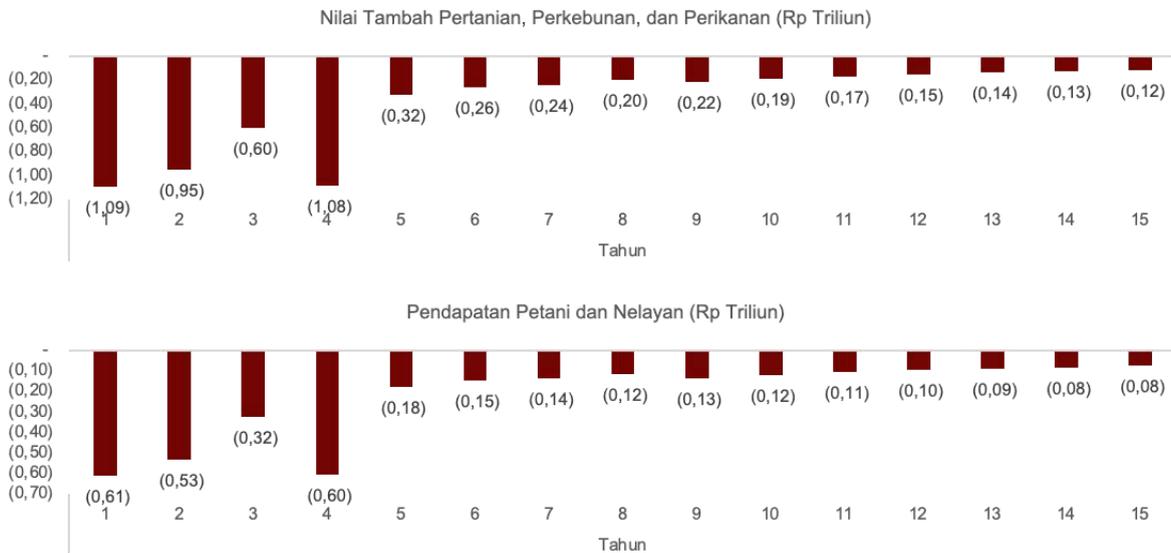


Gambar 19. Upah pekerja lewat Skenario RE dan APC di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

Dampak terhadap pertanian dan perikanan

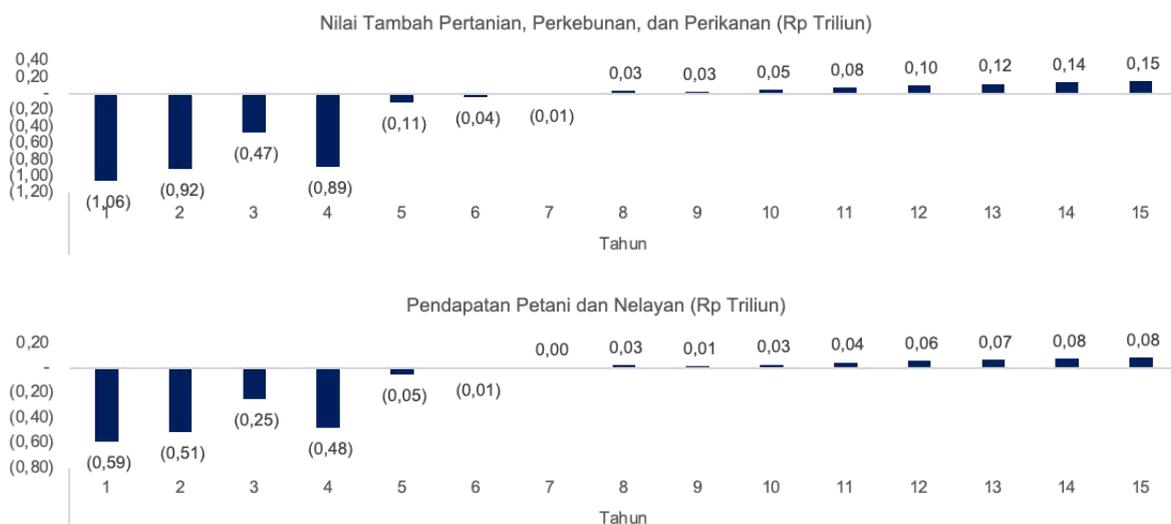
Dampak pertambangan nikel terhadap sektor pertanian dan perikanan di ketiga provinsi ini cenderung negatif dalam skenario BAU, baik dalam hal nilai tambah ekonomi maupun pendapatan petani dan nelayan. Tidak hanya pertambahan nilai tak terjadi, tetapi industri nikel dapat menyebabkan kerugian nilai tambah ekonomi lebih dari Rp6 triliun (USD387,10 juta) dalam 15 tahun. Begitu pula yang terjadi pada pendapatan petani dan nelayan, yakni adanya kerugian pendapatan sebesar Rp3,64 triliun (USD234,84 juta) dalam 15 tahun.

Hal ini berbeda dengan skenario RE dan APC, yang mampu menghasilkan tren positif di semua provinsi, baik dalam hal nilai tambah maupun pendapatan petani dan nelayan. Tren positif ini dapat meningkatkan kesejahteraan petani dan nelayan, serta meningkatkan ekonomi di daerah tersebut.



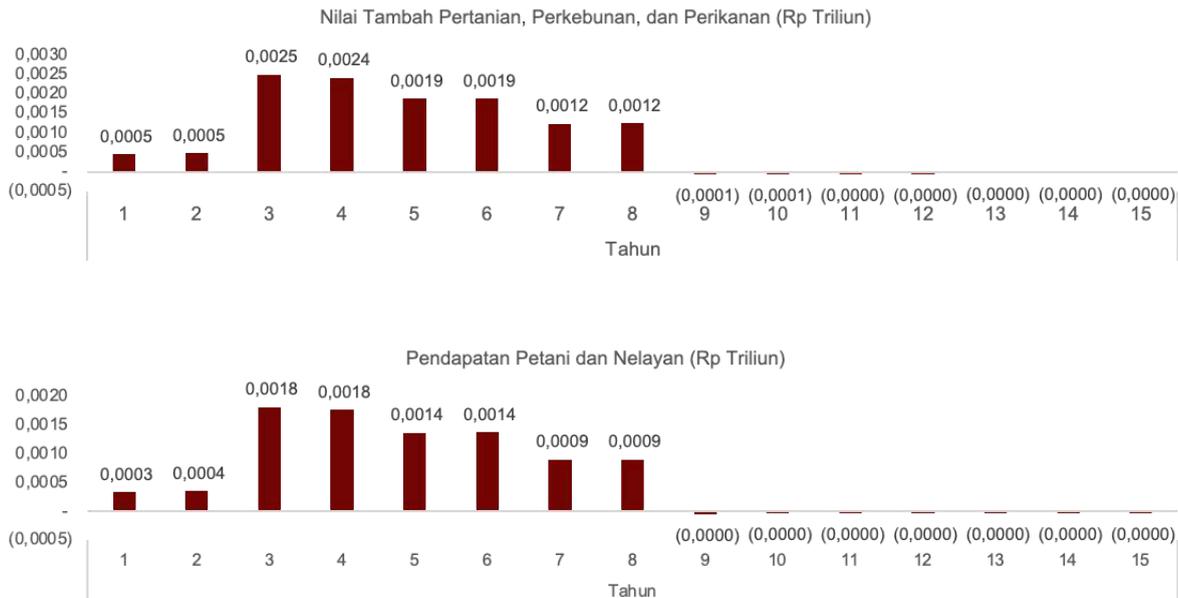
Gambar 20. Dampak terhadap pertanian dan perikanan di Sulawesi Tengah dengan skenario BAU

Dampak negatif dari skenario BAU terhadap nilai tambah sektor pertanian dan perikanan di Sulawesi Tengah berupa kekeringan yang mengganggu pertanian dan pencemaran air yang meracuni ikan dan berpotensi besar merusak ekosistem perikanan. Dalam grafik ditunjukkan bahwa dalam 15 tahun, nilai tambah yang dihasilkan selalu negatif. Total nilai tambah yang hilang adalah Rp5,86 triliun (USD377,4 juta). Tren ini juga terjadi pada pendapatan petani dan nelayan, yang selalu negatif. Kerugian pendapatan petani dan nelayan mencapai hingga Rp3,36 triliun (USD216,77 juta) selama 15 tahun.



Gambar 21. Dampak terhadap pertanian dan perikanan Sulawesi Tengah dengan skenario RE dan APC

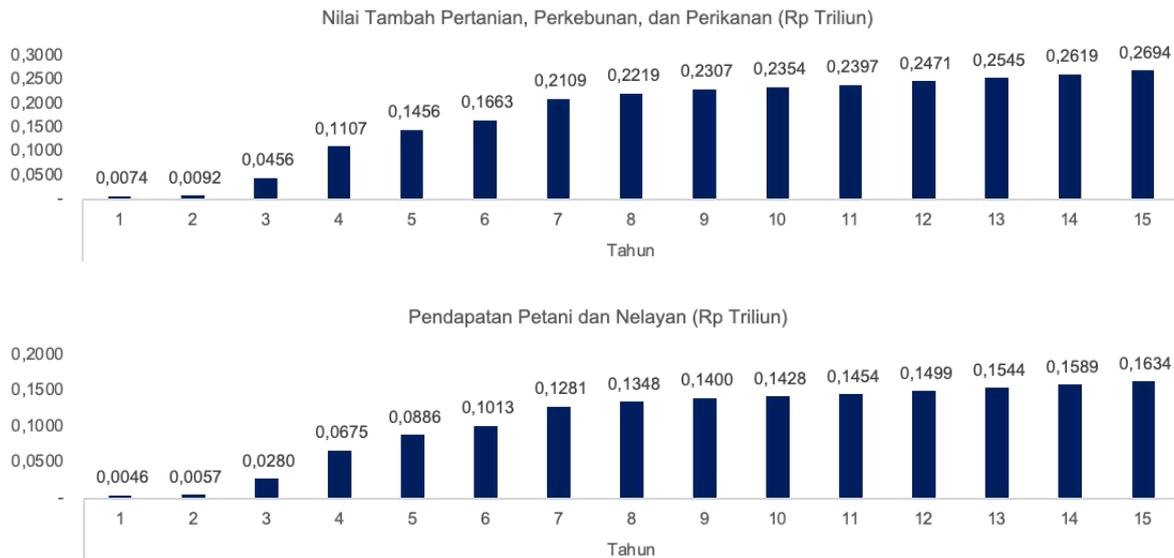
Skenario RE dan APC menunjukkan bahwa baik nilai tambah maupun pendapatan petani dan nelayan masih mengalami kelanjutan tren negatif dalam fase konstruksi. Namun, pada tahun ke-8 dan seterusnya pendapatan petani dan nelayan mulai meningkat sebesar Rp80 miliar (USD 5,16 juta) per tahun, persisnya pada tahun ke-15.



Gambar 22. Dampak terhadap pertanian dan perikanan Sulawesi Tenggara dengan Skenario BAU

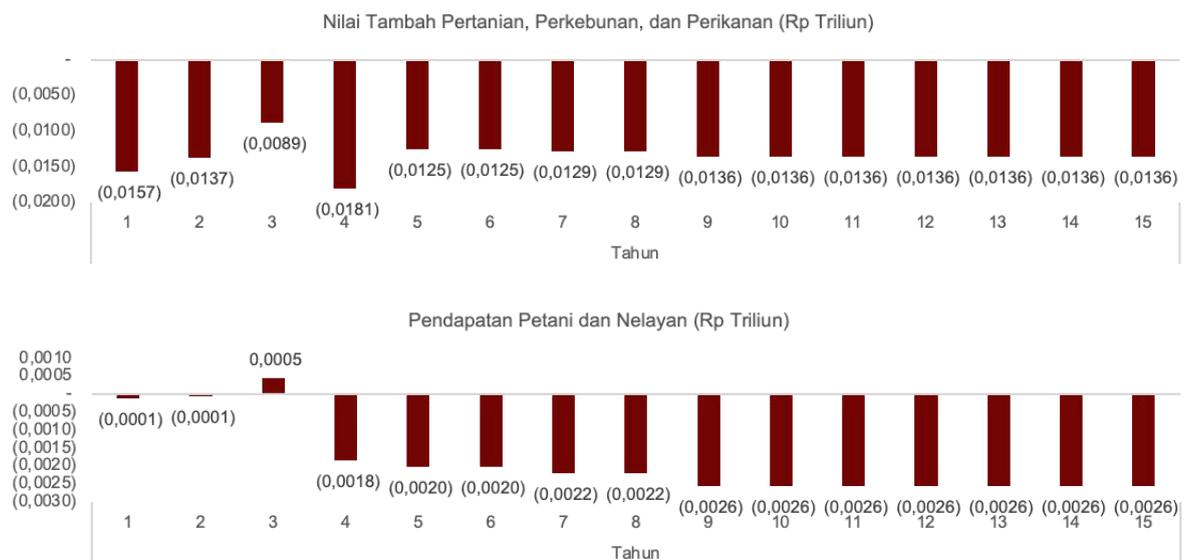
Skenario BAU dari industri nikel di Sulawesi Tenggara hanya akan memberikan manfaat bagi pertanian lokal selama fase konstruksi, di mana para pekerja membutuhkan pasokan makanan dan mendorong permintaan untuk produksi pertanian di Sulawesi Tenggara.

Namun, pada tahun ketiga dan seterusnya, akan mengalami penurunan hingga tidak menghasilkan nilai tambah sama sekali sejak tahun ke-11. Pendapatan petani dan nelayan terjadi secara serupa karena setelah tahun ke-4 akan terus mengalami penurunan hingga tidak menghasilkan pendapatan sejak tahun ke-9. Hal ini disebabkan oleh operasi smelter nikel yang mempengaruhi kualitas air dan tanah. Oleh karena itu, hal ini memperlihatkan bagaimana profesi petani dan nelayan sangat terancam.



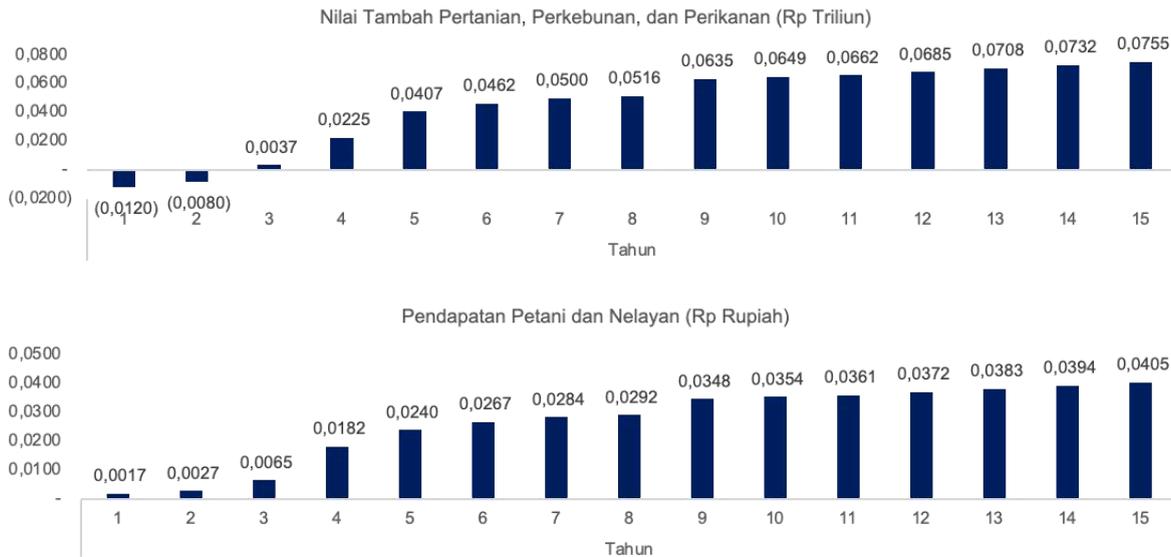
Gambar 23. Dampak terhadap pertanian dan perikanan Sulawesi Tenggara lewat skenario RE dan APC

Hal yang kontras dengan skema BAU diperlihatkan dalam skenario RE dan APC, di mana nilai tambah ekonomi tampak sangat positif. Peningkatan nilai tambah ekonomi meningkat 36 kali lipat dari Rp7,4 miliar (USD477,42 ribu) per tahun menjadi Rp269 miliar (USD17,35 juta) per tahun. Ini diikuti dengan peningkatan lebih dari 36 kali lipat dalam pendapatan petani dan nelayan, dari Rp4,6 miliar (USD296,77 ribu) per tahunnya, menjadi Rp163 miliar (USD10,52 juta) per tahun.



Gambar 24. Dampak terhadap pertanian dan perikanan di Maluku Utara dengan skenario BAU

Skema ini menunjukkan bahwa nilai tambah ekonomi Maluku Utara selalu negatif. Selama 15 tahun, Maluku Utara kehilangan nilai tambah sebesar Rp202 miliar (USD13,03 juta). Pada pendapatan petani dan nelayan, mulai tahun ke-4 terjadi penurunan yang negatif dan mengakibatkan kerugian pendapatan sebesar Rp28,4 miliar (USD1,83 juta).



Gambar 25. Dampak pertanian dan perikanan Maluku Utara dengan skenario RE dan APC

Skenario RE dan APC menunjukkan hasil yang cenderung positif. Nilai tambah ekonomi Maluku Utara meningkat dari negatif Rp12 miliar (USD774,19 ribu) per tahun menjadi Rp75,5 miliar (USD4,87 juta) per tahun atau peningkatan lebih dari 700%. Demikian juga, pendapatan petani dan nelayan meningkat secara dramatis sebanyak 23 kali lipat dari Rp1,7 miliar (USD109,68 ribu) per tahun menjadi Rp40,5 miliar (USD2,61 juta) per tahun. Dalam kasus Provinsi Maluku Utara, dampak positif dari penerapan APC dan peningkatan RE sangat nyata terlihat.

Dampak terhadap ketimpangan di tingkat regional

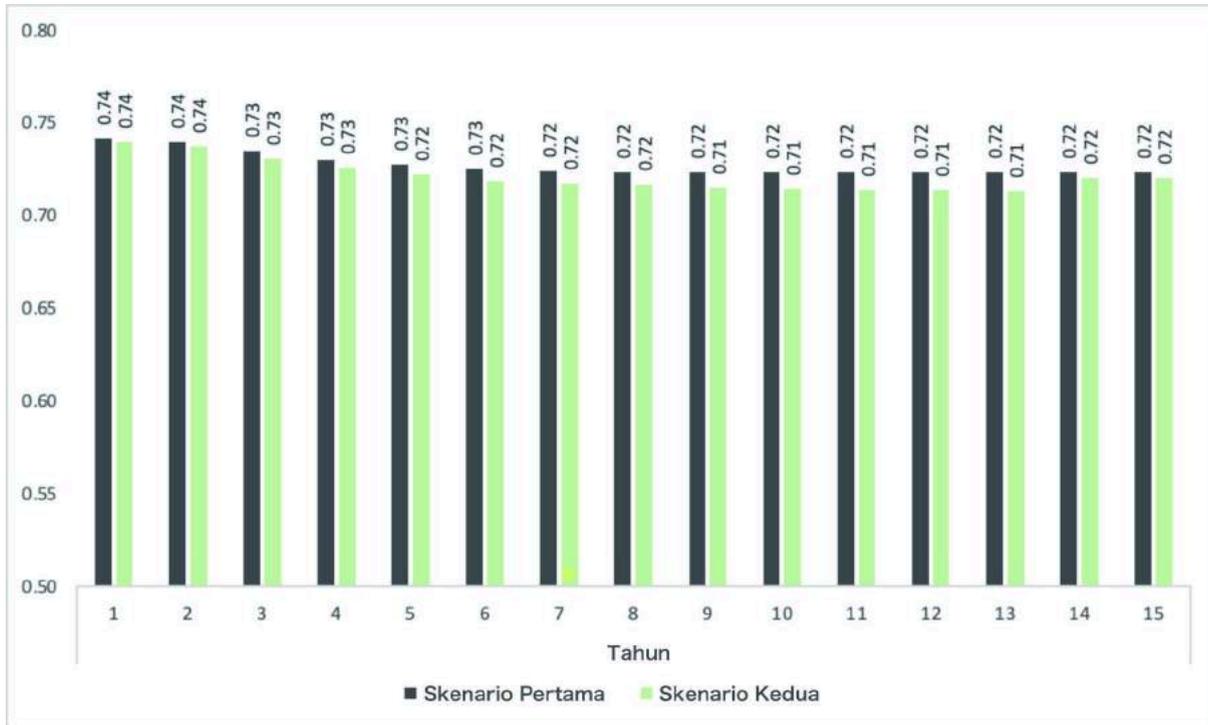
Implikasi terhadap tingkat ketimpangan regional/provinsi dijelaskan melalui Indeks Williamson. Indeks ini menggambarkan ketimpangan pendapatan per kapita antar wilayah dengan rentang nilai dari 0 hingga 1. Semakin mendekati 1, semakin tidak merata atau semakin tinggi ketimpangannya. Skenario RE dan APC menekankan APC dan peningkatan proporsi RE dapat mengurangi ketimpangan pendapatan dengan mengurangi angka Indeks Williamson sesuai proyeksi. Namun, eksternalitas negatif yang dibahas dari proyek-proyek tersebut diperkirakan akan menimbulkan beban besar terhadap perekonomian sehingga meskipun ada langkah-langkah mitigasi, kesenjangan tidak akan dapat diatasi secara signifikan. Ketimpangan bahkan bisa memburuk di tahun-tahun berikutnya ketika dampak dari eksternalitas tersebut menjadi lebih nyata.

Ketimpangan wilayah pertambangan ini merupakan konsekuensi dari pembangunan industri padat modal. Misalnya saja di Sulawesi Tengah pada tahun 2023¹⁰, sektor pertanian mampu menyumbang lapangan kerja 38,85% lebih banyak dibandingkan sektor pertambangan yang hanya 2,39% dan industri pengolahan yang hanya 9,36%. Selain itu, pertumbuhan ekonomi yang tinggi juga masih diikuti dengan peningkatan angka kemiskinan khususnya di kawasan industri smelter nikel. Di Morowali¹¹, angka kemiskinan mencapai 12,58% pada tahun 2022. Lebih tinggi dibandingkan daerah lain yang tidak memiliki smelter. Angka kemiskinan di Kabupaten Sigi yang tidak memiliki smelter hanya sebesar 12,30%. Angka kemiskinan di Morowali bahkan lebih tinggi dibandingkan rata-rata provinsi.

Minimnya kontribusi ekonomi industri nikel di wilayah lokasi smelter dan tambang juga disebabkan karena hampir seluruh pemangku kepentingan industri dikuasai oleh perusahaan multinasional dan bank asing. Baik dari tenaga kerja, teknologi industri, hingga pembiayaan perbankan dikuasai pihak swasta asing. Hal ini menyebabkan distribusi manfaat ekonomi tidak merata. Masyarakat yang berada di kawasan pertambangan atau smelter tidak akan menerima manfaat yang cukup, mereka justru harus menanggung kerugian sosial, ekonomi, lingkungan, dan kesehatan yang tidak diperhitungkan dalam tingkat kebijakan.

¹⁰ Situasi Ketenagakerjaan Sulawesi Tengah Februari 2023, BPS

¹¹ Kemiskinan Kabupaten Morowali 2011-2022, BPS



Gambar 26. Indeks Williamson dari analisis industri nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

Dampak terhadap kesehatan dan lingkungan

Emisi dari *captive power* dan pengolahan logam

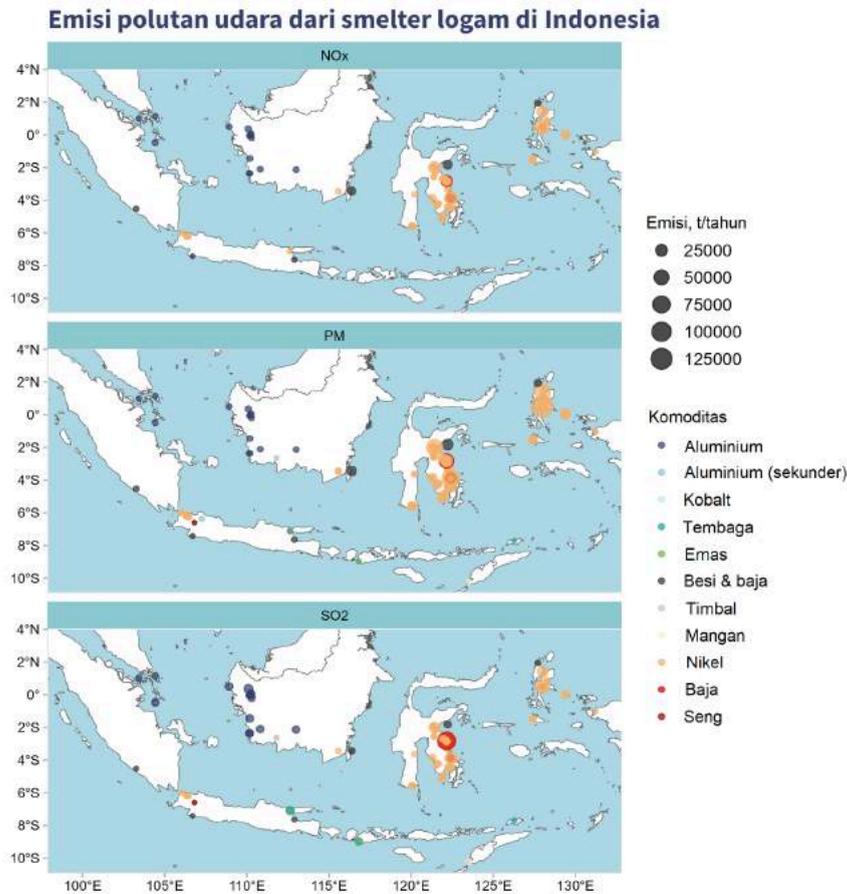
Ekstraksi dan pengolahan mineral memberikan manfaat yang signifikan terhadap perekonomian, namun seringkali menimbulkan konsekuensi yang berat terhadap lingkungan dan kesejahteraan masyarakat sekitar. Aktivitas pertambangan mengubah bentang alam dan ekosistem secara drastis. Selain itu, setiap tahapan penambangan dan pengolahan, mulai dari penggalan, transportasi, pemrosesan mekanis dan termal, berikutan proses peleburan menghasilkan polusi udara yang tidak langsung terlihat secara kasat mata, yang berakibat pada pencemaran lingkungan.

Sebagaimana dijelaskan pada bagian Metodologi, penelitian ini berfokus pada emisi polutan udara yang dihasilkan dari dua kategori sumber emisi terbesar, yaitu;

- 1) pembangkit listrik kawasan atau *captive power plant***, mewakili PLTU *captive*, serta generator diesel dan pembangkit *captive* berbahan bakar gas yang dioperasikan secara eksklusif untuk menghasilkan listrik untuk konsumsi sendiri bagi pengguna industri atau komersial—dalam hal ini, semua unit yang telah diidentifikasi untuk menggerakkan operasi produsen nikel yang beroperasi di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara;
- 2) pengolahan logam berbasis batubara**, yang mewakili fasilitas atau sumber titik di mana proses metalurgi untuk pemurnian dan pembuatan logam berlangsung—dalam hal ini, fasilitas peleburan pada seluruh produsen nikel yang beroperasi di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara.

Pada Gambar 27, terdapat peta distribusi fasilitas yang memproduksi berbagai jenis komoditas logam yang diproduksi di seluruh Indonesia, beserta perkiraan emisi tahunan untuk polutan udara utama; partikulat (PM), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO₂).

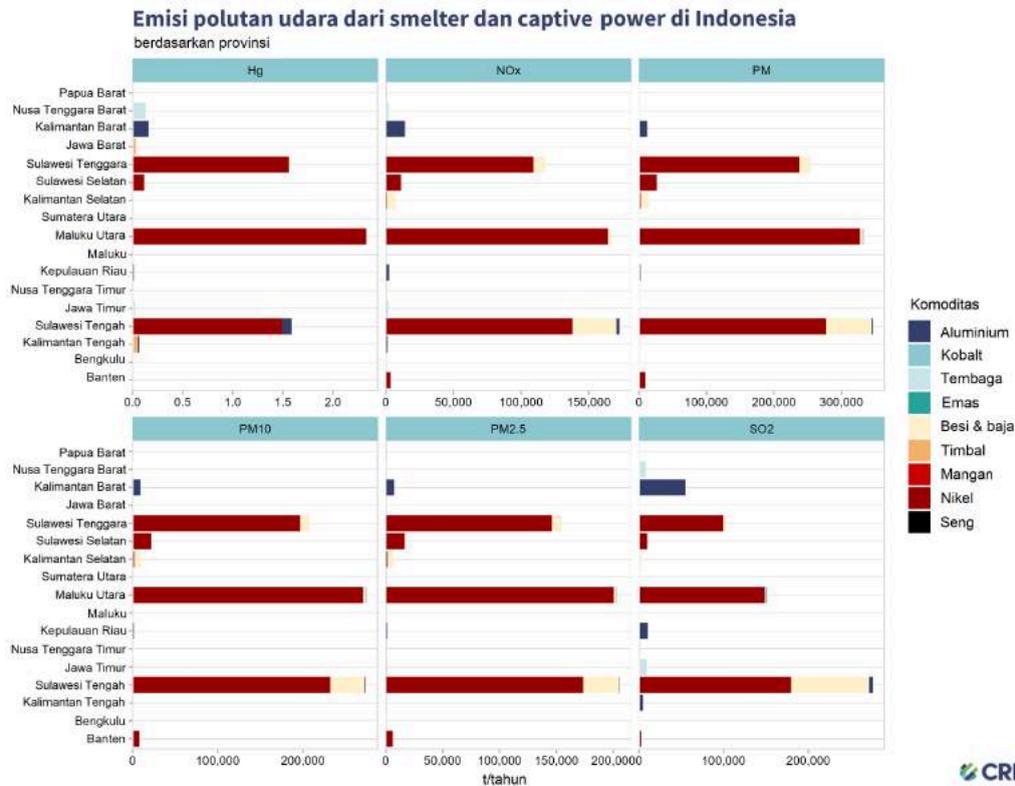
Hampir seluruh atau sebagian besar industri nikel berpusat di tiga provinsi di Indonesia Timur, yang berjarak dekat dengan pasokan cadangan. Emisi dari tiap lingkaran yang mewakili perusahaan atau klaster penghasil nikel, tampak jauh lebih besar dibandingkan emisi yang dihasilkan dari produsen komoditas logam lain yang berada di wilayah lain di Indonesia. Hal ini tidak hanya menggambarkan besarnya skala industri nikel ini, namun juga menyoroti penting untuk menyoroti potensi dampaknya terhadap paparan, pengendapan, dan transportasi polusi udara yang dihasilkan.



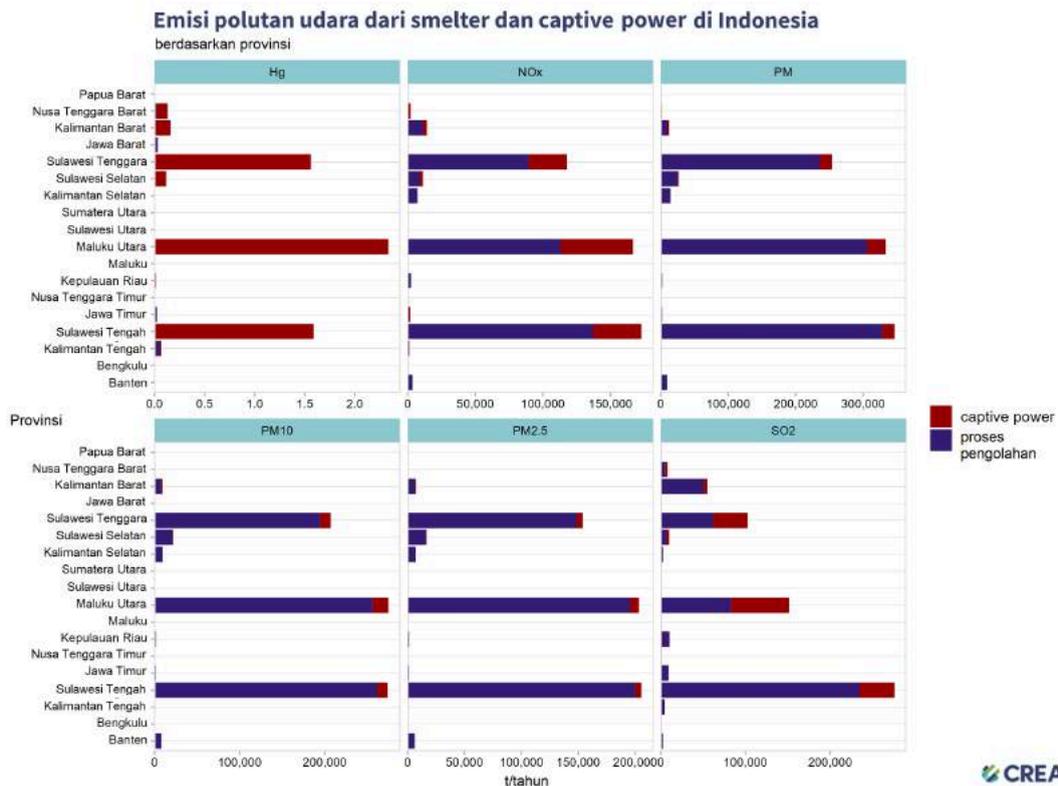
Gambar 27. Distribusi fasilitas peleburan logam di seluruh Indonesia berdasarkan jenis komoditas dan perkiraan emisi polusi udara tahunan

Beban emisi berdasarkan komoditas logam menurut provinsi disajikan pada Gambar 28, bersama dengan data tambahan mengenai pelepasan emisi tahunan merkuri (Hg), serta rincian partikel halus dan kasar (PM_{2.5} dan PM₁₀). Pada Gambar 29, estimasi emisi dikelompokkan berdasarkan dua sumber yang ditentukan dalam studi ini—PLTU *captive* dan pengolahan logam. Hampir 80% emisi PM, NO_x, dan SO₂ berasal dari proses pengolahan logam, dan sisanya berasal dari pembangkit listrik *captive*. Merkuri yang dilepaskan dari PLTU akan berkaitan langsung dengan PLTU *captive*.

Besarnya kontribusi dari industri logam menunjukkan bahwa upaya mitigasi emisi udara perlu diprioritaskan untuk menjaga perlindungan pekerja dan masyarakat setempat. Pedoman Lingkungan, Kesehatan, dan Keselamatan untuk Peleburan dan Pemurnian Logam Dasar dari *International Finance Corporation* (IFC) menyoroti bahwa langkah-langkah yang direkomendasikan dan nilai acuan ambang emisi umumnya dapat dicapai dengan biaya yang wajar, dan wajib diterapkan ketika satu atau lebih anggota dari Kelompok Bank Dunia terlibat dalam suatu proyek (Grup Bank Dunia, 2007).



Gambar 28. Kontribusi polusi udara per provinsi penghasil emisi berdasarkan komoditas

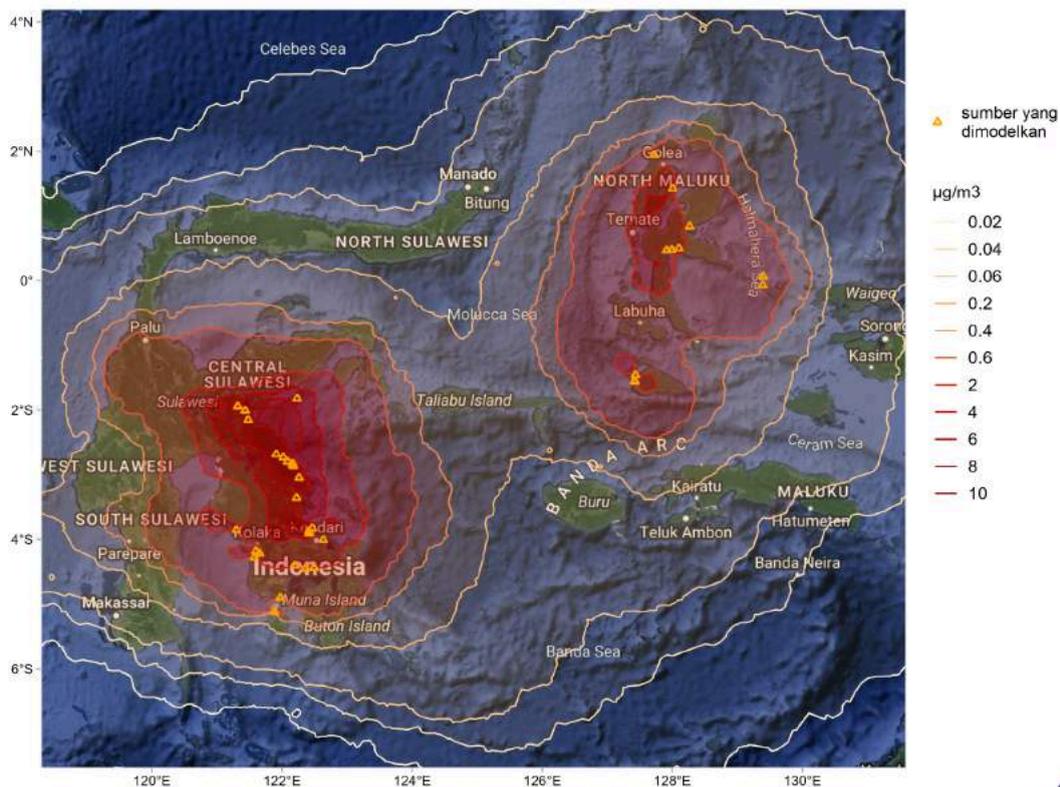


Gambar 29. Kontribusi polusi udara per provinsi penghasil emisi berdasarkan sumber

Pada Gambar 30, 31, dan 32, terdapat peta yang mengilustrasikan tingkat penyebaran polutan udara yang dihasilkan dari fasilitas pengolahan nikel serta pembangkit listrik terkait pada tahun 2027, di mana semua kapasitas nominal yang dikompilasikan dalam studi ini diasumsikan sudah beroperasi, berdasarkan data yang tersedia mengenai tahun konstruksi dan tahap pembangunan.

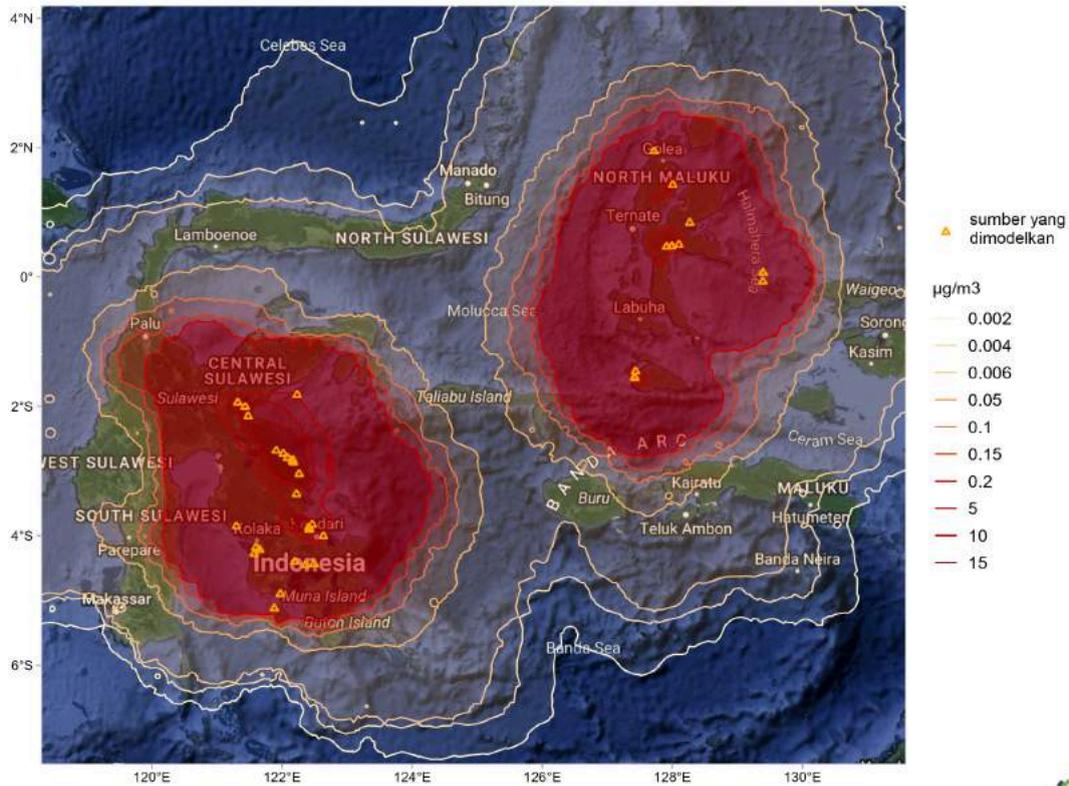
Dampak polusi akan terpusat pada kelompok pusat pengolahan. Analisis menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata tahunan tertinggi akan mencapai hingga $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk NO_2 , $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk SO_2 , dan $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk $\text{PM}_{2.5}$. Diilustrasikan dalam peta kontur, distribusi antara polutan-polutan utama ini bervariasi, dengan NO_2 dan $\text{PM}_{2.5}$ menurun lebih cepat seiring bertambahnya jarak, dan SO_2 mempertahankan konsentrasi tinggi di wilayah yang lebih luas.

Rata-rata konsentrasi NO_2 tahunan dari seluruh smelter dan captive power



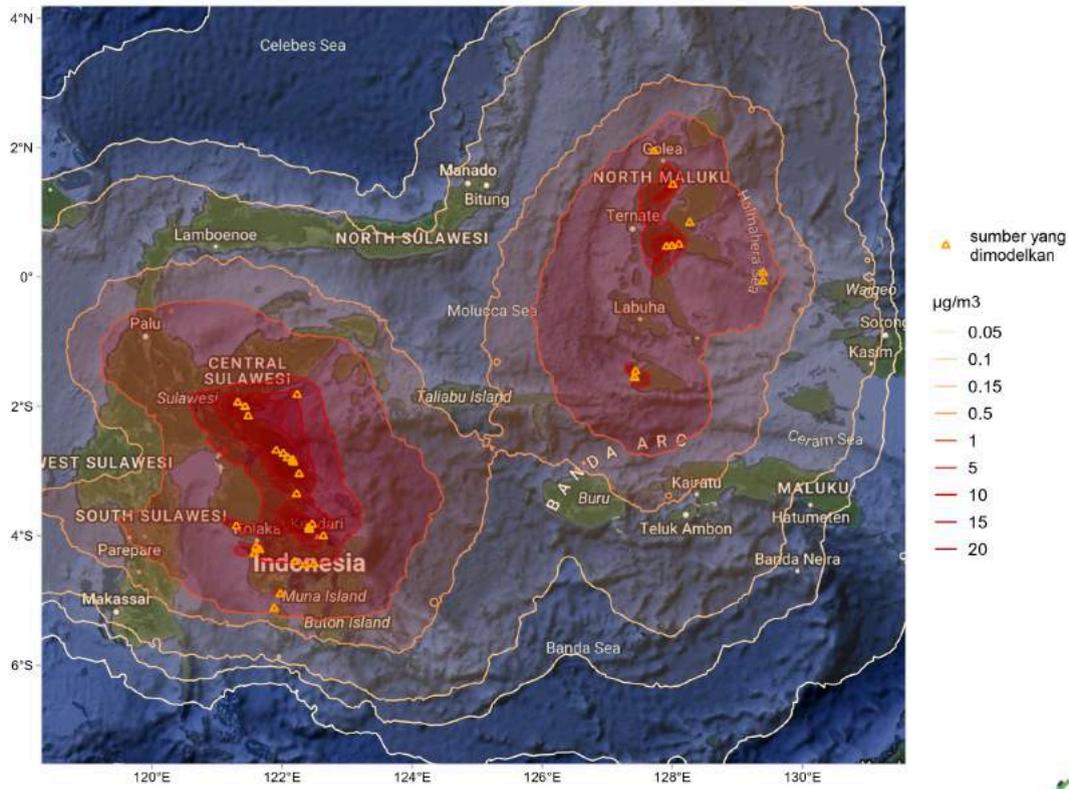
Gambar 30. Konsentrasi rata-rata tahunan NO_2 dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi (sekitar tahun 2027, di mana semua kapasitas yang diketahui diasumsikan sudah beroperasi)

Rata-rata konsentrasi SO₂ tahunan dari seluruh smelter dan captive power



Gambar 31. Konsentrasi rata-rata tahunan SO₂ dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi (sekitar tahun 2027, di mana semua kapasitas yang diketahui diasumsikan sudah beroperasi)

Rata-rata konsentrasi PM2.5 tahunan dari seluruh smelter dan captive power

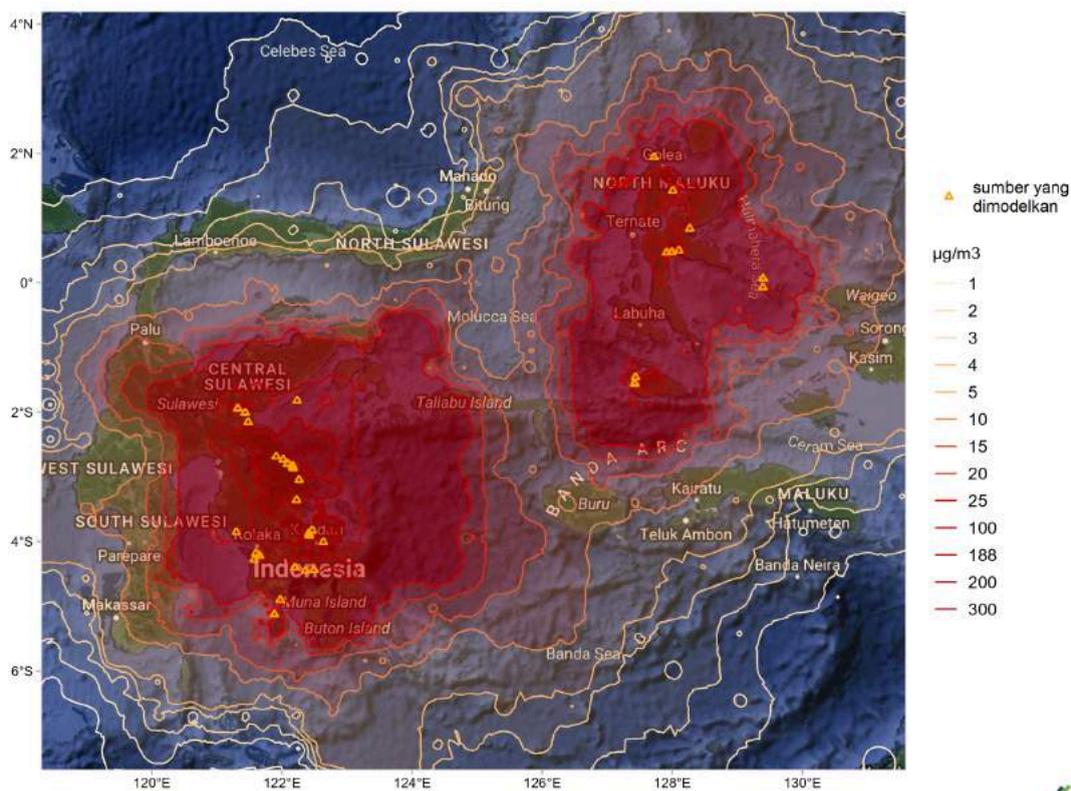


Gambar 32. Konsentrasi rata-rata tahunan PM_{2.5} dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi (sekitar tahun 2027, di mana semua kapasitas yang diketahui diasumsikan sudah beroperasi)

Konsentrasi maksimum dalam periode 1 jam dan 24 jam untuk setiap polutan dipilih untuk dibandingkan dengan metrik yang ditentukan dalam Pedoman Kualitas Udara WHO 2005 yang digunakan sebagai dasar standar kualitas udara ambien nasional di Indonesia.

Gambar 33 menunjukkan konsentrasi NO₂ maksimum dalam 1 jam disebabkan oleh pabrik peleburan dan pembangkit listrik *captive* di tiga provinsi, yang mencapai puncaknya sebesar 300 µg/m³. Standar kualitas udara ambien nasional saat ini menetapkan ambang batas NO₂ dalam 1 jam sebesar 200 µg/m³, ambang batas 24 jam pada 65 µg/m³, dan ambang batas tahunan sebesar 50 µg/m³. Ini berarti potensi pelanggaran maksimum mungkin 50% kali lebih tinggi dari standar nasional 1 jam.

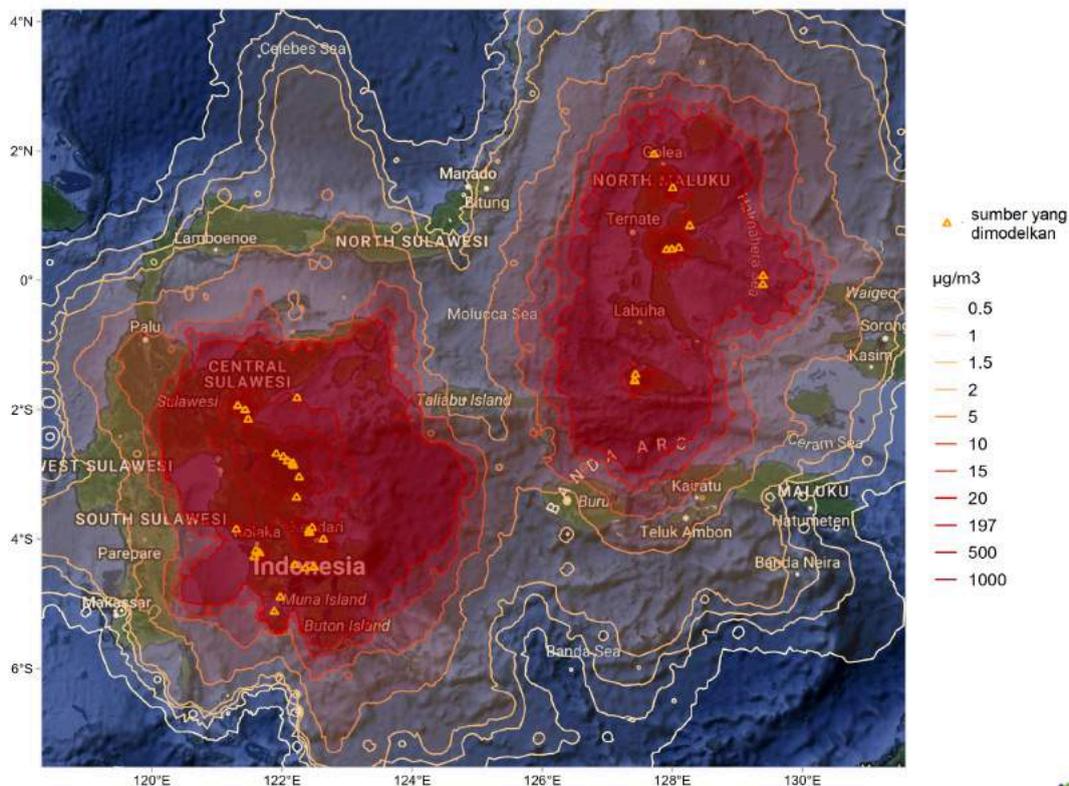
Konsentrasi NO₂ maksimum dalam 1 jam dari seluruh smelter dan captive power



Gambar 33. Konsentrasi maksimum NO₂ dalam 1 jam disebabkan oleh emisi yang dilepaskan dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi tersebut (sekitar tahun 2027, di mana semua kapasitas yang diketahui diasumsikan sudah beroperasi)

Gambar 34 berikut menunjukkan konsentrasi SO₂ maksimum dalam 1 jam, yang menunjukkan bahwa kadarnya dapat mencapai 1.000 µg/m³ yang paling dekat dengan sumber emisi. Standar kualitas udara ambien nasional saat ini menetapkan ambang batas SO₂ 1 jam sebesar 150 µg/m³, ambang batas 24 jam pada 75 µg/m³, dan ambang batas tahunan sebesar 40 µg/m³. Potensi pelampauan maksimum mungkin 5,5 kali lipat lebih tinggi dari ambang batas 1 jam.

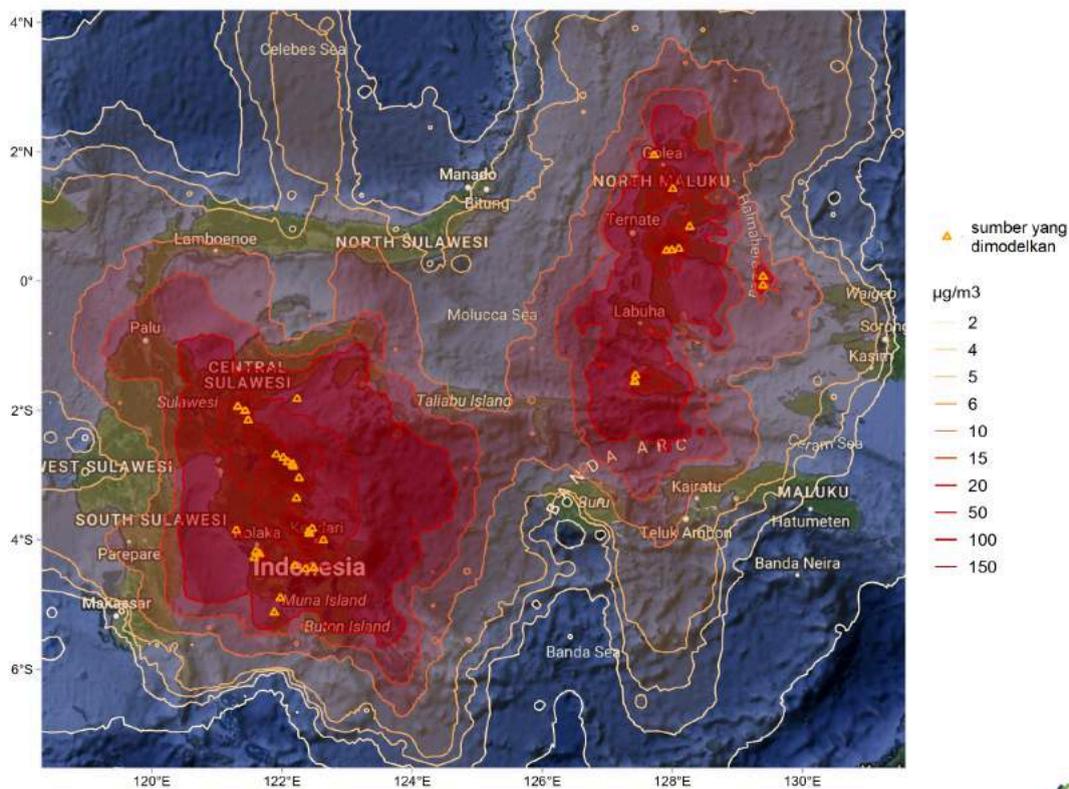
Konsentrasi SO₂ maksimum dalam 1 jam dari seluruh smelter dan captive power



Gambar 34. Konsentrasi maksimum SO₂ dalam 1 jam disebabkan oleh emisi yang dilepaskan dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi tersebut (sekitar tahun 2027, di mana semua kapasitas yang diketahui diasumsikan sudah beroperasi)

Gambar 35 di bawah mengilustrasikan konsentrasi maksimum $PM_{2.5}$ dalam 24 jam. Kadarnya mungkin mencapai $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di sebagian besar Sulawesi dan Maluku Utara dalam kondisi atmosfer yang tidak mendukung. Standar kualitas udara ambien nasional saat ini menetapkan ambang batas $PM_{2.5}$ 24 jam sebesar $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan ambang batas tahunan sebesar $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat $PM_{2.5}$ 24 jam terburuk di ketiga provinsi tersebut mungkin hampir 3 kali lebih tinggi dari standar nasional, atau 9 kali lebih tinggi dari ambang batas $PM_{2.5}$ 24 jam yang direkomendasikan dalam Pedoman Kualitas Udara WHO tahun 2021 yaitu $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

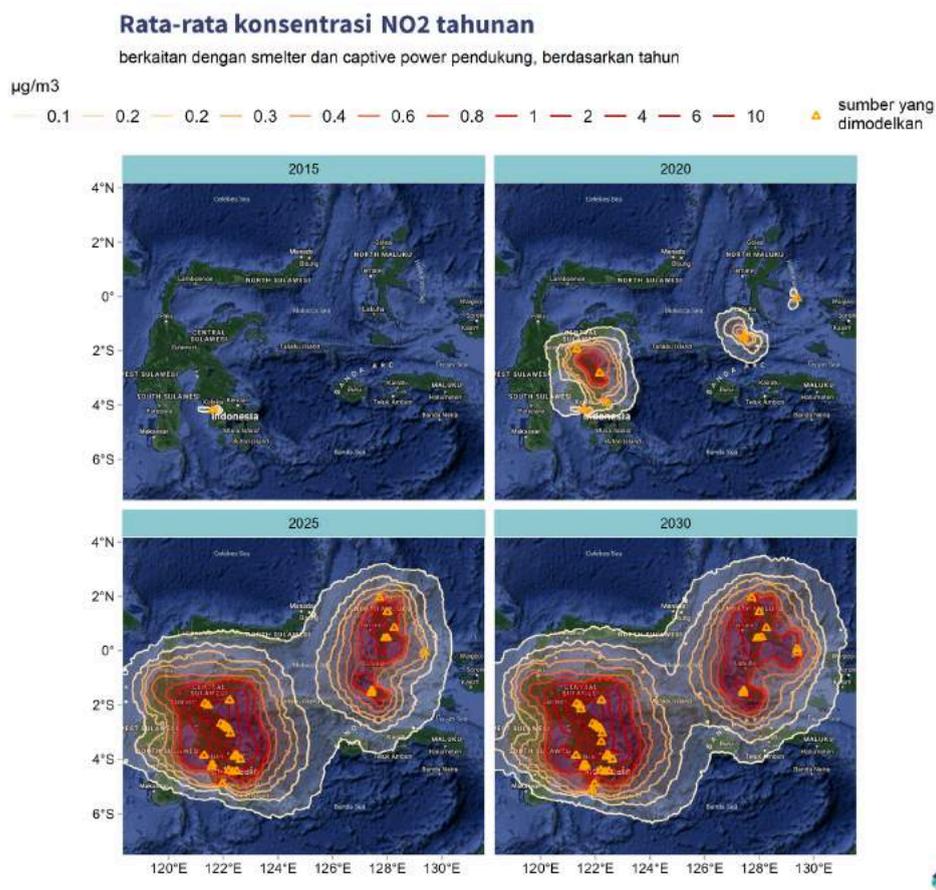
Konsentrasi $PM_{2.5}$ maksimum dalam 24 jam dari seluruh smelter dan captive power



Gambar 35. Konsentrasi maksimum $PM_{2.5}$ dalam 24 jam disebabkan oleh emisi yang dilepaskan dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi tersebut (sekitar tahun 2027, di mana semua kapasitas yang diketahui diasumsikan sudah beroperasi)

Tiga gambar berikutnya, Gambar 36, 37, dan 38 menunjukkan bagaimana emisi dari NO₂, SO₂, dan PM_{2.5}, masing-masing, diproyeksikan meningkat dalam interval 5 tahun dari tahun 2015 hingga 2030. Peningkatan pesat dalam kapasitas produksi nikel dimulai pada akhir tahun 2020, yang tercermin jelas dalam angka-angka tersebut. Seiring dengan penambahan kapasitas pada dekade berikutnya, emisi diperkirakan akan meningkat dan terakumulasi secara paralel, dengan laju yang sama atau bahkan lebih cepat.

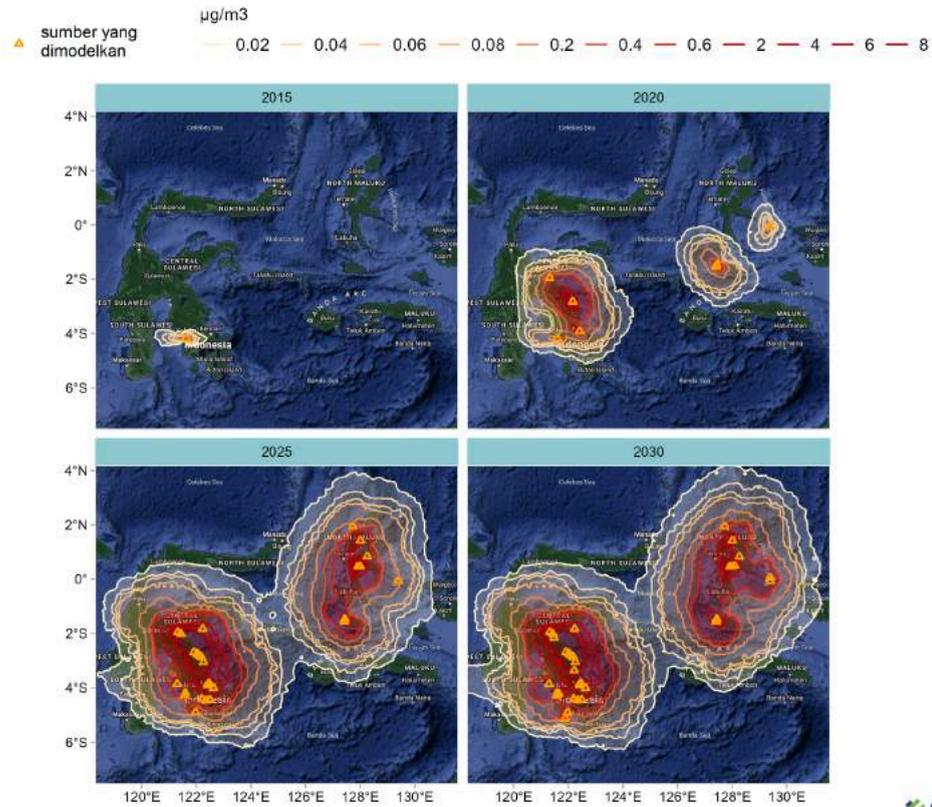
Tanpa adanya intervensi, tingkat konsentrasi polutan yang membahayakan kesehatan di titik-titik panas yang dipetakan diperkirakan akan tetap berada pada tingkat yang tinggi, sehingga berakibat dampak kesehatan terhadap penduduk yang tinggal di wilayah tersebut dan berkontribusi terhadap pelepasan logam berat atmosferik secara signifikan di wilayah tersebut.



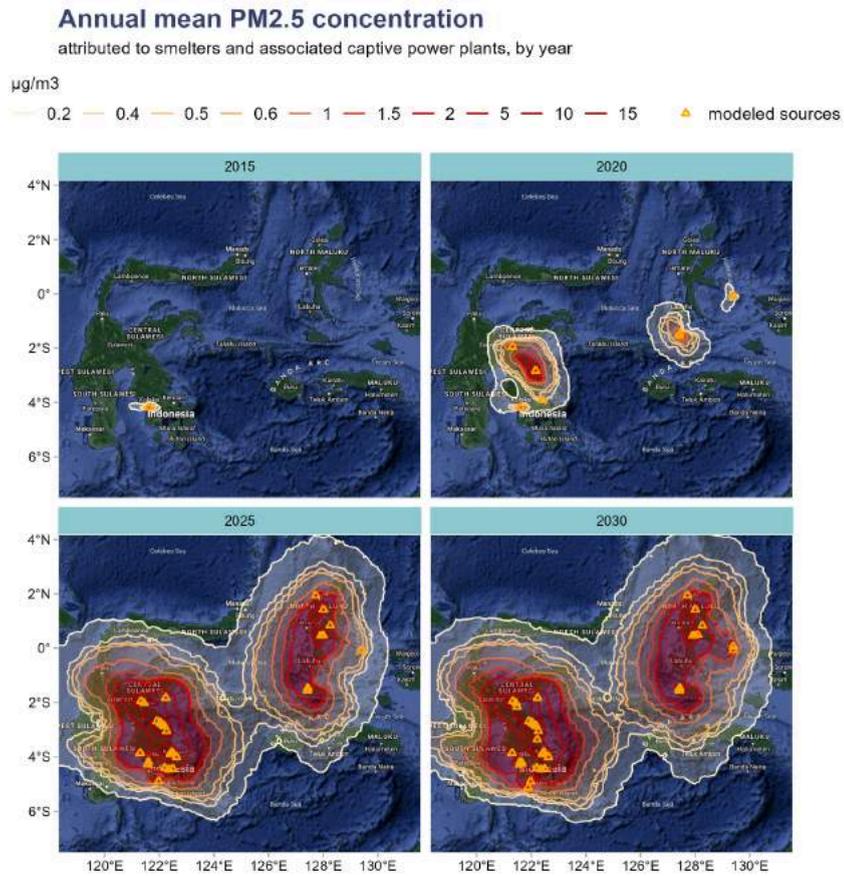
Gambar 36. Perkiraan distribusi konsentrasi rata-rata tahunan NO₂ dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi tersebut dari tahun 2015 hingga 2030

Rata-rata konsentrasi SO₂ tahunan

berkaitan dengan smelter dan captive power pendukung, berdasarkan tahun



Gambar 37. Estimasi distribusi konsentrasi rata-rata tahunan SO₂ dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi dari tahun 2015 hingga 2030

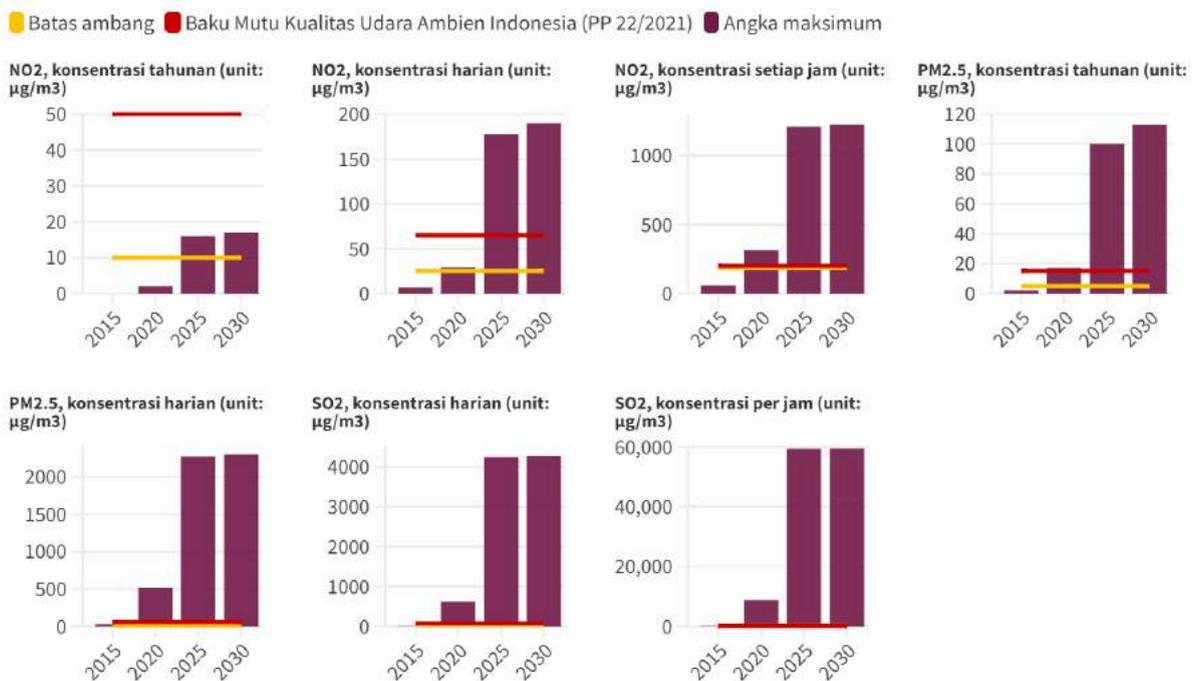


Gambar 38. Perkiraan distribusi konsentrasi rata-rata tahunan PM_{2.5} dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi dari tahun 2015 hingga 2030

Gambar 39 menunjukkan tingkat konsentrasi ambien maksimum yang dapat dicapai sebagai akibat dari emisi yang dilepaskan dari semua pabrik pemrosesan logam yang dievaluasi dan pembangkit listrik yang memasok listrik selama tahun 2015 hingga 2030.

Antara tahun 2020 dan 2025, diperkirakan terjadi peningkatan emisi yang signifikan tanpa adanya intervensi yang ketat. Tingkat maksimum akan jauh melebihi tingkat aman berdasarkan bukti seperti yang direkomendasikan dalam Pedoman Kualitas Udara Global WHO 2021 untuk semua polutan utama yang membahayakan kesehatan, serta standar kualitas udara ambien nasional Indonesia yang ditentukan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (BPK-JDIH, 2021).

Estimasi konsentrasi ambien maksimum NO₂, PM_{2.5}, dan SO₂ terkait dengan emisi smelter dan captive power, melampaui batas ambang



Sumber: Analisa CREA • Catatan: Ambang batas aman berbasis bukti untuk NO₂, PM_{2.5}, dan SO₂ adalah sebagaimana tercantum dalam pedoman kualitas udara global WHO tahun 2021, dan Standar Kualitas Udara Ambien Indonesia mengacu pada PP 22/2021 untuk Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Gambar 39. Perkiraan maksimum tingkat konsentrasi NO₂, PM_{2.5}, dan SO₂ di lingkungan terkait dengan emisi dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi, dari tahun 2015 hingga 2030

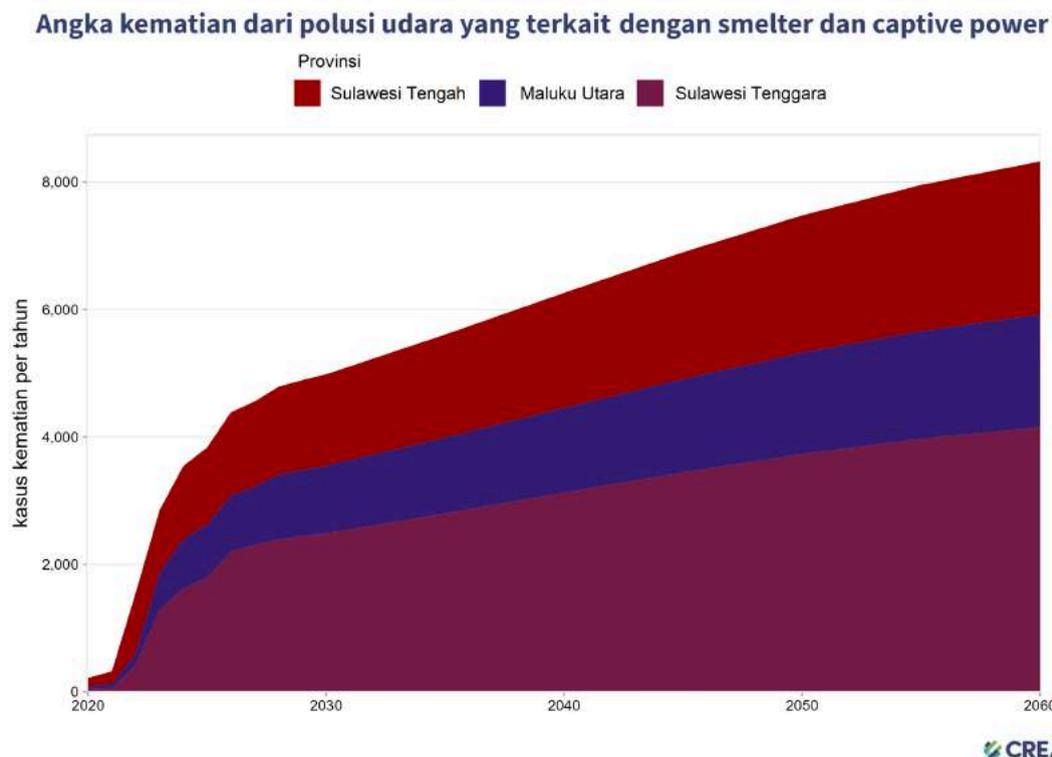
Tabel 10 berikut merangkum jumlah populasi dan wilayah yang terkena dampak pelampauan maksimum tingkat konsentrasi ambien harian NO₂, SO₂, dan PM_{2.5}. Karena sifat alami penyebaran polutan udara, PM_{2.5} diperkirakan akan tersebar dalam jarak yang lebih jauh, berdampak pada lebih banyak orang dan wilayah yang lebih luas dibandingkan dengan NO₂ dan SO₂.

Tabel 10. Jumlah populasi dan luas wilayah yang terdampak pelampauan maksimum tingkat konsentrasi ambien harian NO₂, SO₂, dan PM_{2.5} terkait dengan emisi dari fasilitas pengolahan logam dan captive power di tiga provinsi, dari tahun 2015 hingga 2030.

Tahun	NO ₂		SO ₂		PM _{2.5}	
	Jumlah populasi terdampak (orang)	Luas area terdampak (km ²)	Jumlah populasi terdampak (orang)	Luas area terdampak (km ²)	Jumlah populasi terdampak (orang)	Luas area terdampak (km ²)
2015	-	-	-	-	3.106	50
2020	727	39	29.546	4.376	156.110	10.651
2025	1.033.704	42.014	1.201.554	54.824	7.105.404	363.085
2030	1.377.678	48.736	1.331.115	59.831	8.148.930	428.798

Dampak kesehatan dari polusi udara

Berdasarkan model penyebaran polusi udara, CREA menghitung risiko kesehatan akibat paparan polutan. Jumlah kematian yang dapat dikaitkan dengan aktivitas pengolahan logam dan *captive power* penunjang industri tersebut diperkirakan akan meningkat secara signifikan hingga tahun 2030, sejalan dengan antisipasi peningkatan kapasitas produksi. Jumlah kematian diperkirakan akan meningkat pesat dari 215 kasus pada tahun 2020 menjadi 3.833 kasus pada tahun 2025, hampir 18 kali lipat dalam lima tahun (Gambar 40). Tanpa intervensi yang berarti, jumlah kematian diperkirakan akan terus meningkat menjadi 4.982 pada tahun 2030, dan 8.325 pada tahun 2060.



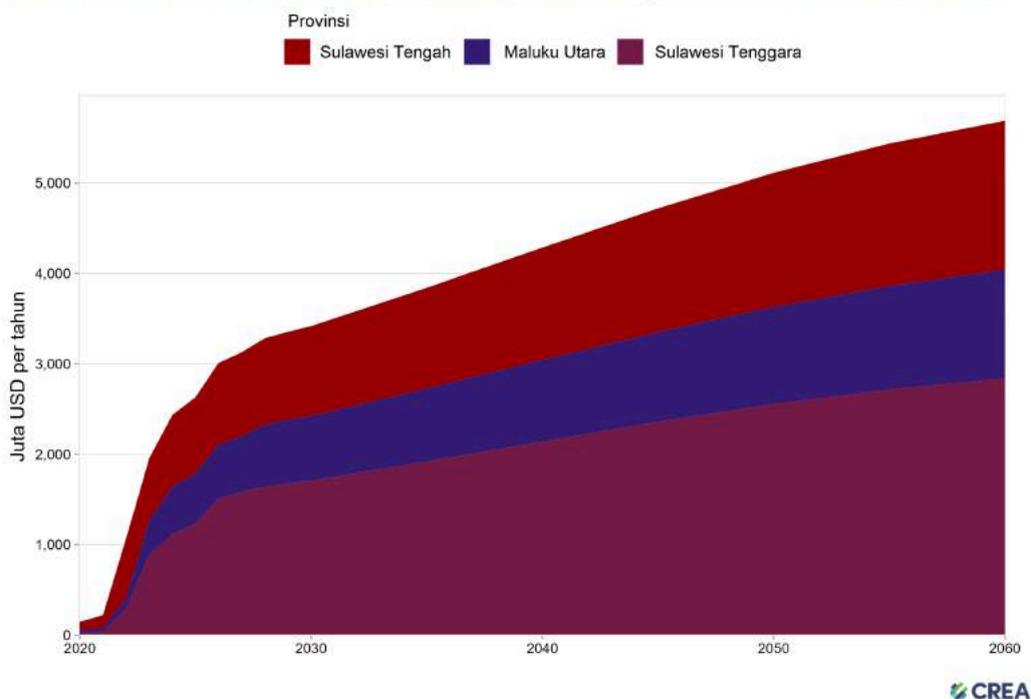
Gambar 40. Jumlah kasus kematian dari polusi udara terkait aktivitas pengolahan logam dan captive power, dikelompokkan berdasarkan provinsi penghasil emisi, yaitu Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

Beban ekonomi yang diakibatkan oleh polusi udara juga dihitung dari seluruh dampak kesehatan yang berkorelasi dengan peningkatan tingkat konsentrasi polusi udara. Pada orang dewasa, polusi udara menyebabkan dan memperburuk penyakit pernapasan, seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronik, serta peningkatan risiko stroke dan diabetes. Dampaknya sangat besar terhadap bayi baru lahir dan anak-anak, menyebabkan berat badan lahir rendah, kelahiran prematur, infeksi saluran pernapasan bawah, asma,

dan penurunan fungsi paru-paru. Ketidakhadiran kerja untuk cuti sakit atau keperluan merawat orang lain yang sakit juga dihitung, karena biaya tersebut secara langsung menyebabkan kerugian PDB.

Total kerugian ekonomi tahunan akibat polusi udara yang terkait dengan emisi pengolahan logam dan pembangkit listrik tenaga listrik yang dievaluasi di ketiga provinsi tersebut diperkirakan mencapai USD148 juta (Rp2,29 triliun) pada tahun 2020, dan diproyeksikan meningkat hampir 18 kali lipat menjadi USD2,63 miliar (Rp40,7 triliun) pada tahun 2025. Tanpa intervensi yang berarti, beban perekonomian akan terus meningkat hingga mencapai hampir USD3,42 miliar (Rp53,0 triliun) pada tahun 2030, dan USD5,69 miliar (Rp88,2 triliun) pada tahun 2060 (Gambar 41).

Beban ekonomi dari dampak kesehatan terkait dengan smelter dan captive power

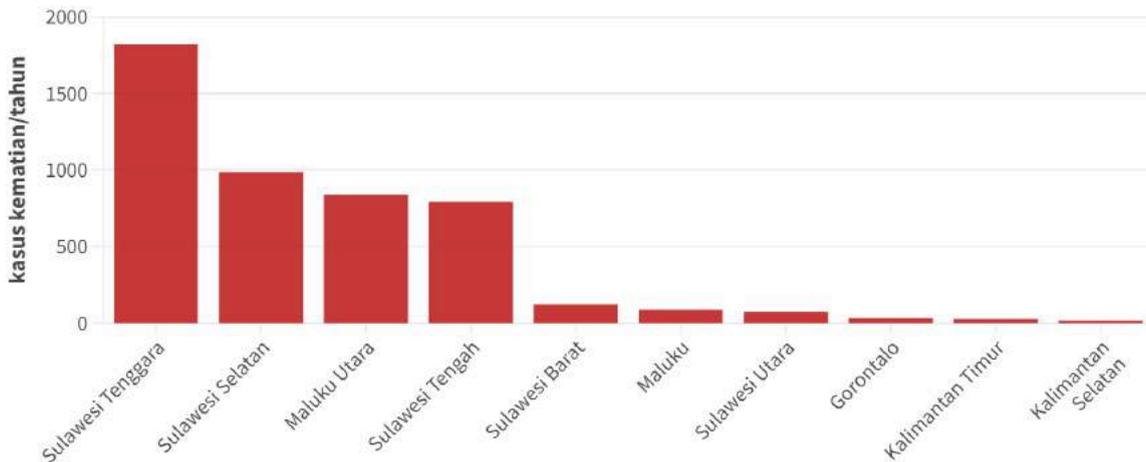


Gambar 41. Beban ekonomi dari polusi udara terkait aktivitas pengolahan logam dan *captive power*, dikelompokkan berdasarkan provinsi penghasil emisi, yaitu Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

Berdasarkan evaluasi biaya yang dikeluarkan oleh provinsi-provinsi terdampak, dampaknya terlihat lebih besar terhadap masyarakat yang tinggal di sekitar sumber emisi. Masyarakat yang berada di Sulawesi Tenggara, Maluku Utara, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Tengah akan terkena dampak paling besar. Dengan proporsi yang sama, angka kasus kematian dan dampak ekonomi di tingkat provinsi terdampak ditunjukkan pada Gambar 42 dan 43 di bawah.

Kematian akibat polusi udara terkait dengan emisi smelter dan captive power pada tahun 2030

berdasarkan provinsi yang terkena dampak, karena emisi dari tiga provinsi yang dievaluasi



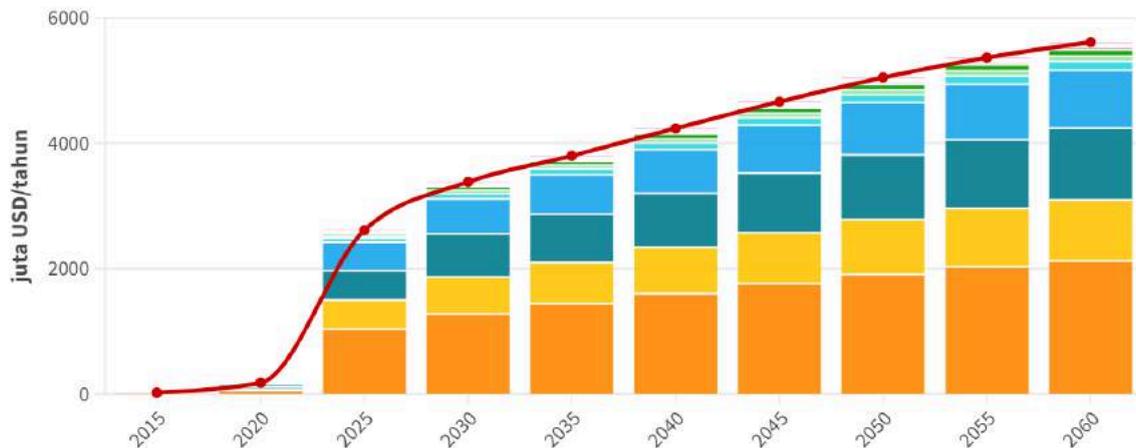
Sumber: Analisa CREA.



Gambar 42. Kematian terkait polusi udara terkait emisi peleburan dan pembangkit listrik pada tahun 2030, dikelompokkan berdasarkan provinsi yang terdampak

Total beban ekonomi akibat polusi udara terkait dengan smelter dan captive power di provinsi terdampak

■ nilai tengah ■ Sulawesi Tenggara ■ Maluku Utara ■ Sulawesi Selatan ■ Sulawesi Tengah ■ Sulawesi Barat ■ Sulawesi Utara
■ Maluku ■ Gorontalo ■ Kalimantan Timur ■ Papua ■ Kalimantan Selatan ■ Provinsi lainnya



Sumber: Analisis CREA. • Valuasi saat ini di 2024.



Gambar 43. Biaya terkait polusi udara terkait emisi peleburan dan pembangkit listrik berdasarkan provinsi yang terkena dampak, dicantumkan dalam urutan menurun

Rangkuman estimasi dampak kesehatan pada tahun 2030, dikelompokkan berdasarkan provinsi penghasil emisi dan digabungkan dalam angka nasional tersedia pada Tabel 11.

Tabel 11. Dampak kesehatan tahunan berdasarkan provinsi penghasil emisi di tahun 2030

Hasil	Sulawesi Tengah	Maluku Utara	Sulawesi Tenggara	Jumlah - Nasional
Hitungan hari cuti sakit				
Ketidakhadiran kerja	316.805 (269.596 - 363.668)	193.398 (164.578 - 222.006)	519.313 (441.927 - 596.133)	1.029.516 (876.101 - 1.181.807)
Jumlah kasus				
Kasus baru asma pada anak	95 (22 - 207)	18 (4 - 39)	155 (36 - 337)	268 (62 - 583)
Jumlah kasus asma pada anak	406 (108 - 824)	76 (20 - 154)	663 (177 - 1.346)	1.145 (305 - 2.324)
Kunjungan ke ruang gawat darurat asma	109 (66 - 152)	18 (11 - 25)	97 (58 - 135)	224 (135 - 312)
Kelahiran dengan berat badan lahir rendah	195 (61 - 337)	35 (11 - 60)	224 (70 - 388)	454 (142 - 785)
Kelahiran prematur	15 (7 - 15)	3 (1 - 3)	24 (12 - 26)	42 (20 - 44)
Years of lives lost (YLL), angka tahun yang hilang karena kematian dini				
Semua penyebab dari paparan NO₂	756 (322 - 1.739)	131 (56 - 303)	1.337 (570 - 3.077)	2.224 (948 - 5.119)
Semua penyebab dari paparan SO₂	1.785 (1.059 - 2.689)	757 (449 - 1.141)	1.650 (978 - 2.485)	4.192 (2.486 - 6.315)
Years lived with disability (YLD), angka tahun waktu yang hilang akibat kondisi disabilitas				
PPOK	482 (175 - 900)	301 (109 - 562)	807 (293 - 1.505)	1.590 (577 - 2.967)
Diabetes	2.320 (119 - 5.838)	986 (26 - 5.663)	3.548 (154 - 11.358)	6.854 (299 - 22.859)
Stroke	721 (232 - 1.480)	433 (139 - 888)	1.210 (390 - 2.485)	2.364 (761 - 4.853)

Estimasi dampak kesehatan pada tahun 2030 menunjukkan besarnya dampak negatif terhadap produktivitas, dengan perkiraan total lebih dari 1 juta hari cuti kerja akan berpengaruh pada produktivitas provinsi penghasil emisi dan juga provinsi tetangga. Dampak polusi udara terhadap bayi baru lahir dan balita terbilang memprihatinkan, dengan total 1.145 kasus anak menderita asma per tahun dan hampir 500 kasus kelahiran dengan berat badan rendah dan kelahiran prematur per tahun pada tahun 2030.

Seluruh masyarakat yang terpapar NO₂ dan SO₂ yang dihasilkan dari fasilitas pengolahan logam dan *captive power* di ketiga provinsi tersebut mungkin harus menanggung total 6.400 tahun nyawa hilang, belum lagi peningkatan risiko COPD, diabetes, dan stroke setiap tahunnya. Perkiraan ini juga digunakan dalam pemodelan ekonomi di tingkat provinsi.

Fasilitas yang berlokasi di atau dekat dengan populasi yang lebih tinggi diperkirakan akan menimbulkan dampak dan biaya kesehatan yang lebih tinggi. Skala kapasitas nominal produksi juga menentukan tingkat dampak terhadap kualitas udara dan dampak kesehatan yang terkait, selain kondisi meteorologi, suhu, dan kecepatan angin.

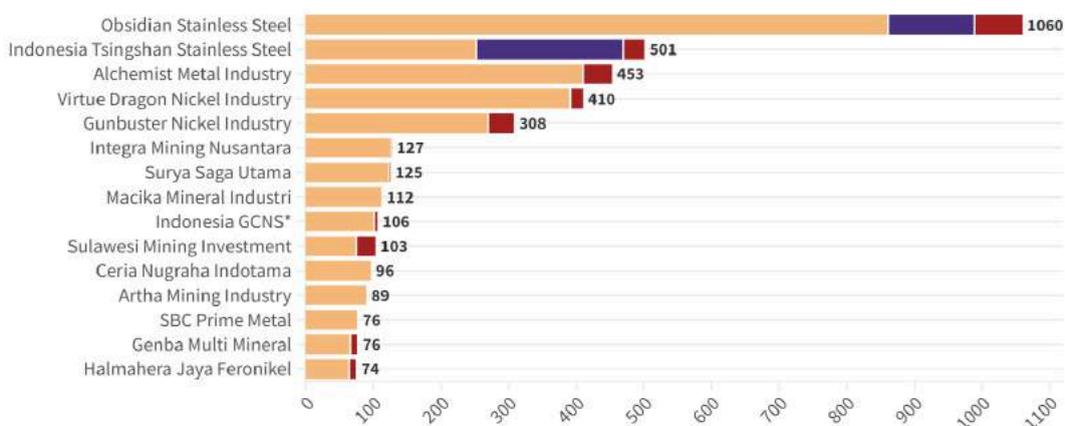
Pada Gambar 44, tercantum jumlah kematian tahunan yang terkait dengan polusi udara untuk sejumlah fasilitas pengolahan logam dengan emisi tertinggi, berdasarkan peringkat dampak kesehatan yang diproyeksikan pada tahun 2030. Angka tersebut dihitung berdasarkan pencemaran yang dapat terjadi tanpa pengendalian emisi yang tepat.

Perusahaan smelter dengan proyeksi dampak kesehatan terbesar

Angka kematian tahunan akibat polusi udara terkait dengan emisi smelter dan captive power pada tahun 2030

■ captive power ■ proses pengolahan - nickel ■ proses pengolahan - iron & steel

kasus kematian/tahun



Sumber: Analisis CREA. *

*Indonesia GCNS, Indonesia Guang Ching Nickel And Stainless Steel Industry

Gambar 44. Kematian terkait polusi udara pada tahun 2030 menurut perusahaan

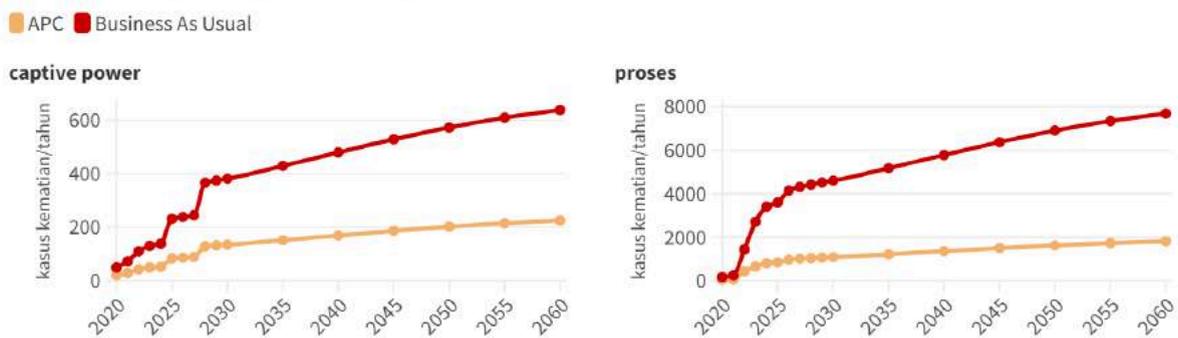
Pada tahun 2030, Obsidian Stainless Steel akan bertanggung jawab atas 1.060 kematian setiap tahunnya dalam kasus ini. Aktivitas operasional Indonesia Tsingshan Stainless Steel akan menyebabkan 500 kematian setiap tahunnya. Alchemist Metal Industry, Virtue Dragon Nickel Industry, dan Gunbuster Nickel Industry juga berada di daftar teratas, melepaskan polutan udara yang masing-masing menyebabkan 453 kematian, 410 kematian, dan 308 kematian. Sebagian besar dampak disebabkan oleh emisi yang dihasilkan dari proses pengolahan logam yang bergantung pada penggunaan batubara.

Pengendalian Polusi Udara

CREA juga menghitung perkiraan manfaat yang dapat diperoleh melalui penerapan teknologi Pengendalian Pencemaran Udara (APC) dengan tingkat kinerja lebih tinggi yang secara efektif akan mengurangi emisi polutan udara yang membahayakan kesehatan.

Pemasangan dan pengoperasian APC yang tepat akan menghindari 247 kematian dari mitigasi emisi polutan dari gas buang PLTU *captive*, dan 3,519 kematian akibat fasilitas pemrosesan yang memenuhi standar yang lebih ketat pada tahun 2030 seperti yang diilustrasikan pada Gambar 45. Karena sebagian besar polutan udara berasal dari proses peleburan logam, jelas bahwa APC merupakan komponen penting dalam operasi nikel yang berkelanjutan dan bertanggung jawab.

Kematian akibat polusi udara terkait emisi smelter dan captive power, berdasarkan skenario (Business-As-Usual vs. APC), dan berdasarkan kategori sumber (captive power vs. proses)



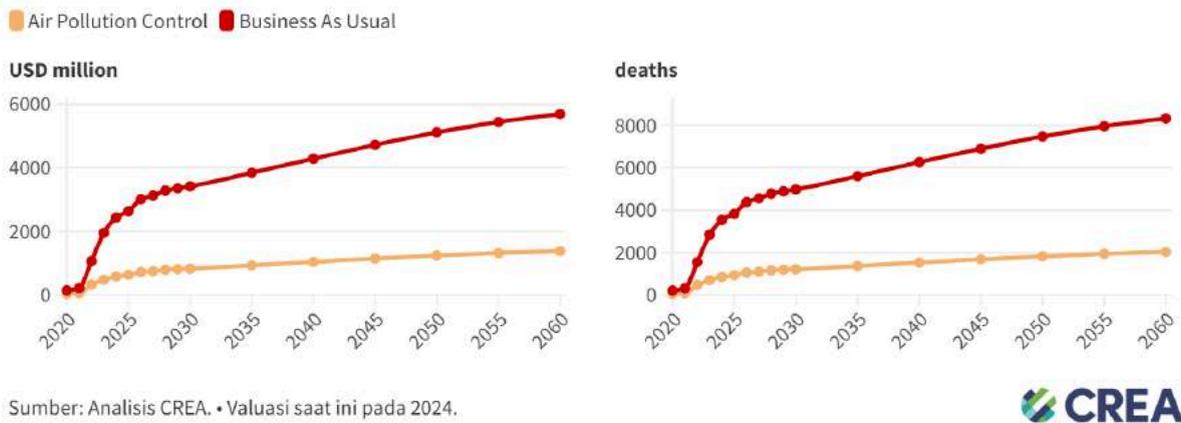
Sumber: Analisis CREA. • Valuasi saat ini di 2024.

Gambar 45. Kematian tahunan terkait polusi udara tanpa intervensi (basis) dan dengan instalasi APC (APC), terkait dengan pabrik peleburan dan pembangkit listrik captive

Ditunjukkan pada Gambar 46, ilustrasi biaya ekonomi tahunan dan kematian yang dapat dihindari melalui pemasangan dan pengelolaan APC yang tepat. Pada tahun 2030, total

3.766 kematian dapat diselamatkan jika standar kualitas udara dipertahankan melalui penggunaan APC, serta hingga USD2,60 miliar (Rp40,3 triliun) dari mitigasi biaya kesehatan terkait polusi udara. Secara kumulatif pada tahun 2060, total 55.600 kematian dan USD38,2 miliar (Rp592 triliun) dapat dihindari jika pusat pemrosesan yang beroperasi di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara berupaya menerapkan standar kualitas udara yang ketat.

Beban ekonomi dan angka kematian akibat polusi udara terkait emisi smelter dan captive power, berdasarkan skenario (Business As Usual vs. APC)



Gambar 46. Biaya ekonomi dan kematian tahunan terkait polusi udara tanpa intervensi (Business-as-Usual) dan dengan pemasangan alat pengendali polusi udara (APC)

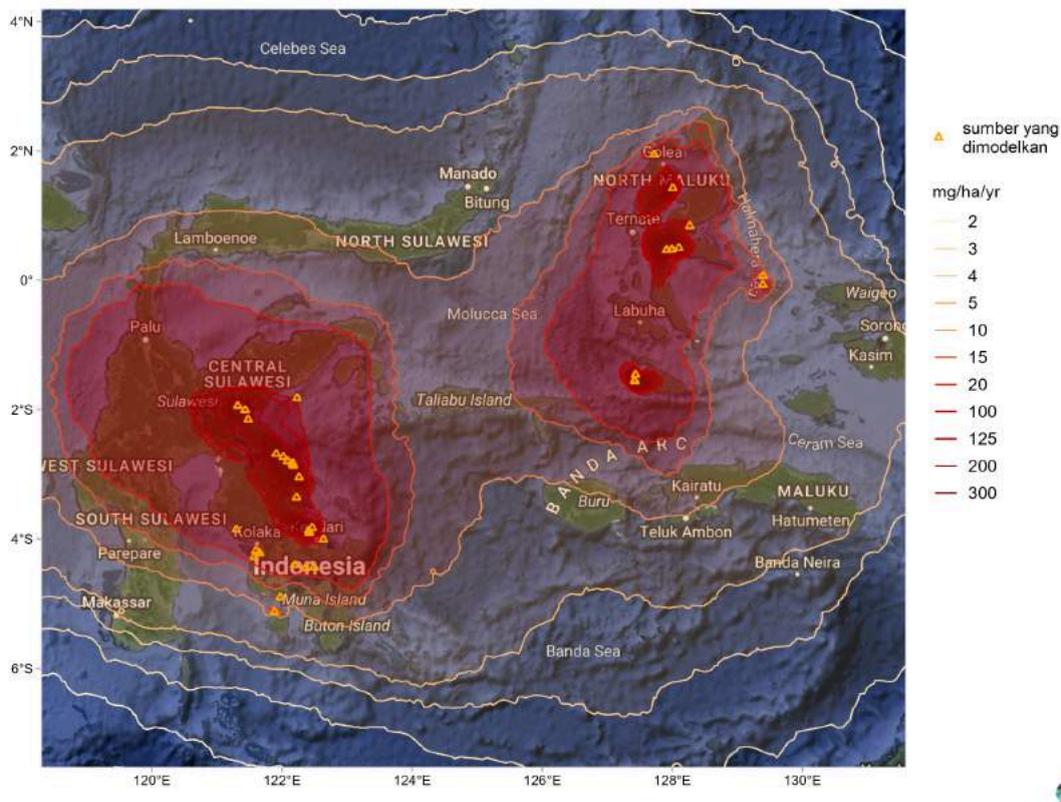
Deposisi beracun

Meskipun penelitian ini berfokus pada polusi udara yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga uap dan fasilitas pengolahan berbasis batubara, CREA juga memperkirakan pengendapan dari partikel kasar dan halus yang tersebar, yang mengandung merkuri dan logam berat lainnya.

Seperti diilustrasikan pada Gambar 47, pengendapan yang terjadi pada saat hujan diperkirakan terjadi di ketiga provinsi tersebut, serta provinsi lain di Pulau Sulawesi dan Maluku. Laju pengendapan merkuri serendah 125 mg/ha/tahun dapat menyebabkan akumulasi merkuri dalam kadar yang tidak aman pada ikan (Swain *et al.*, 1992).

Tingkat pengendapan merkuri tertinggi dapat mencapai 300 mg/ha/tahun di titik panas, yang berarti terdapat risiko signifikan terhadap akumulasi merkuri pada ikan. Analisis menunjukkan bahwa pada tahun 2025, pengendapan merkuri di atas 125 mg/ha per tahun akan mencakup wilayah seluas 24.700 km² yang dihuni oleh 627 ribu jiwa.

Total deposisi merkuri tahunan dari seluruh smelter dan captive power

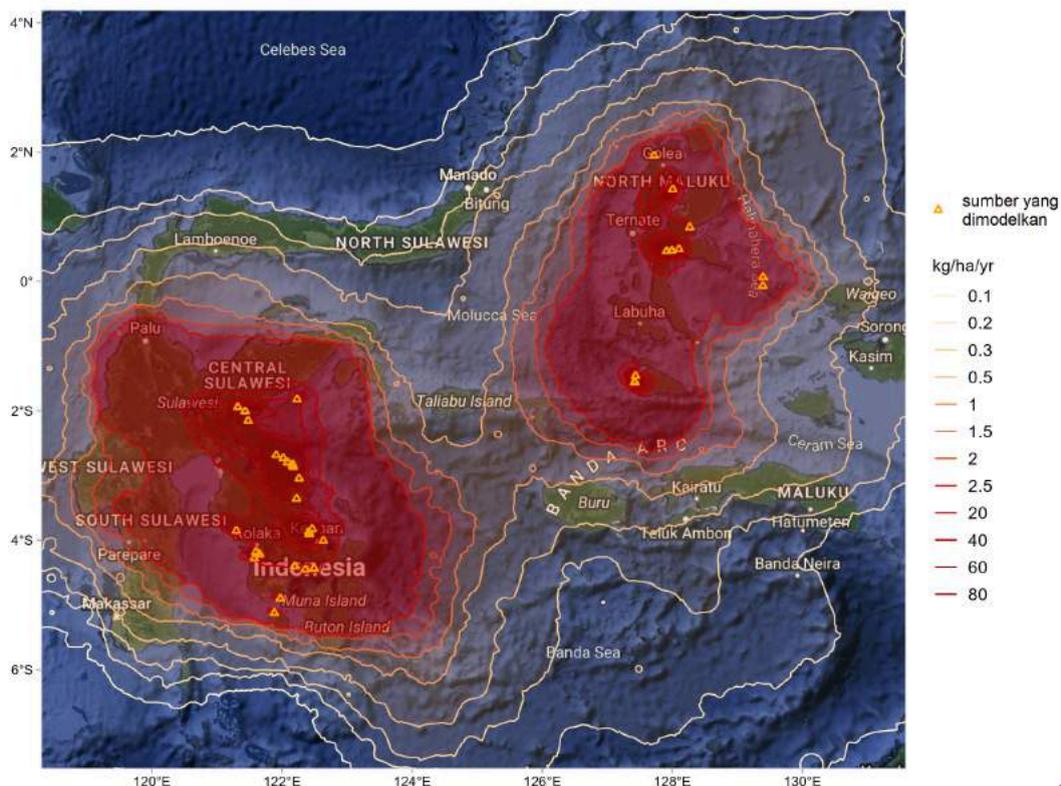


Gambar 47. Konsentrasi rata-rata tahunan total endapan merkuri dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi

Dalam kajian ini, kami menyebut partikel toksik sebagai mikropartikel kompleks di udara yang dihasilkan dari batubara dengan komposisi bervariasi, mengandung unsur toksik yang meliputi logam berat, Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH), dan unsur sensitif lingkungan lainnya. Partikel halus berupa abu sisa hasil pembakaran batubara atau *coal fly ash* merupakan penyusun sebagian besar partikel beracun.¹² Karena tersebar dalam jarak yang jauh di permukaan tanah dan air, partikel yang mengandung logam berat ini akan melepaskan logam berat dan polutan organik, mencemari tanah dan air, serta berdampak pada lahan pertanian dan ekosistem laut (Chen *et al.*, 2024).

Tingkat pengendapan partikel beracun sebesar 80 kg/ha/tahun terlihat jelas di sekitar cluster, ditunjukkan pada Gambar 48. Estimasi ini menunjukkan risiko besar terhadap keanekaragaman hayati di Pulau Sulawesi dan Kepulauan Maluku, karena logam berat mempunyai toksisitas biologis dan bersifat persisten terhadap lingkungan.

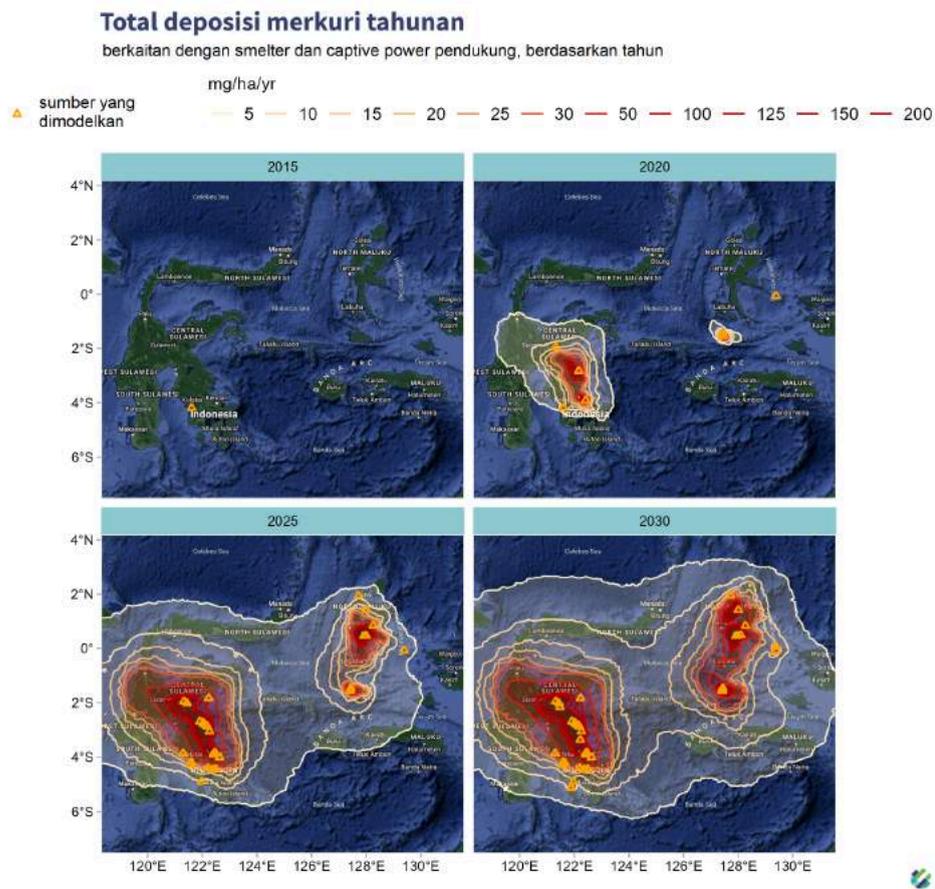
Total deposisi partikel beracun tahunan dari seluruh smelter dan captive power



Gambar 48. Rata-rata total pengendapan partikel beracun tahunan dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi tersebut

¹² *Coal fly ash* mengandung logam berat 2 hingga 10 kali lebih tinggi dibandingkan batubara induknya, terdiri dari mikropartikel berukuran 0,1 hingga 100 mikrometer (Chen *et al.*, 2024)

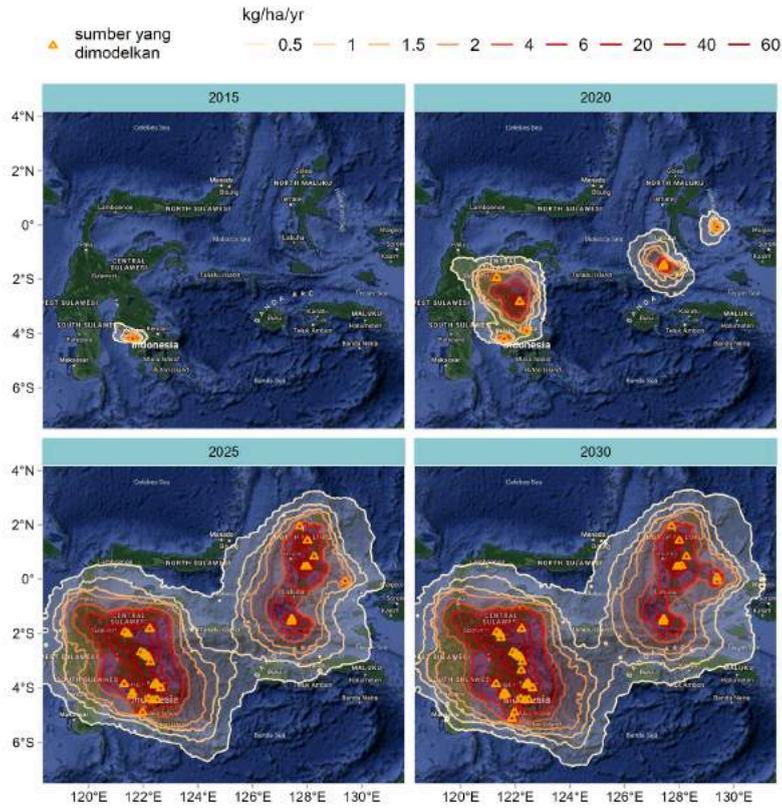
Gambar 49 dan 50 di bawah memberikan ilustrasi proyeksi peningkatan deposisi tahunan merkuri dan partikel beracun dalam interval lima tahun. Seperti yang ditunjukkan dalam kedua gambar tersebut, peningkatan dramatis diperkirakan akan terjadi antara tahun 2020 dan 2025 karena total kapasitas meningkat secara signifikan hingga lebih dari tiga kali lipat, dan akan dipertahankan setelah tahun 2030.



Gambar 49. Perkiraan sebaran total endapan merkuri tahunan dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi tersebut dari tahun 2015 hingga 2030

Total deposisi partikel beracun tahunan

berkaitan dengan smelter dan captive power pendukung, berdasarkan tahun

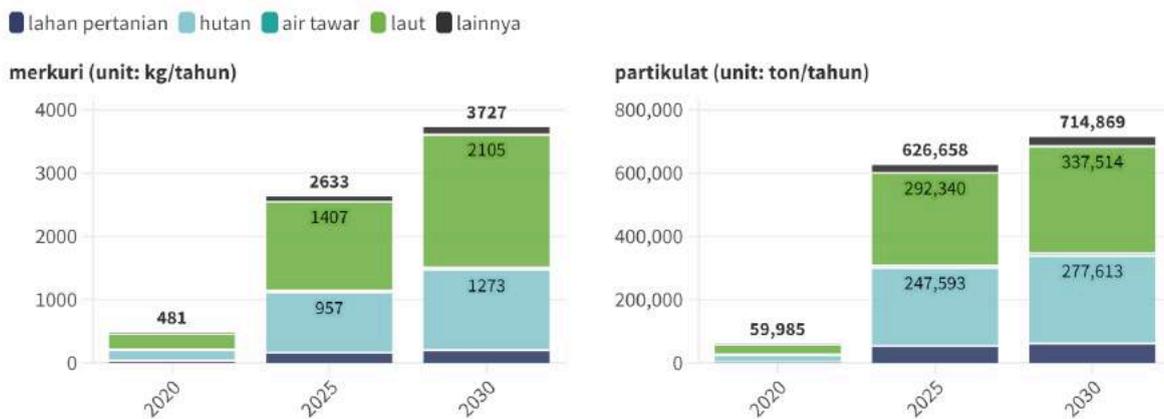


Gambar 50. Perkiraan sebaran total pengendapan partikel beracun tahunan dari fasilitas peleburan logam dan pembangkit listrik di tiga provinsi tersebut dari tahun 2015 hingga 2030

Gambar 51 berikut memberikan ringkasan proyeksi peningkatan pengendapan merkuri dan partikel antara tahun 2020 dan 2030, serta tingkat dampaknya terhadap berbagai kategori lahan, yaitu lahan pertanian, hutan, air tawar, laut, dan permukaan lainnya.

Sebanyak 3.700 kg merkuri dan 715.000 ton bahan partikulat akan diendapkan setiap tahun di Sulawesi dan Maluku Utara pada tahun 2030. Endapan merkuri tahunan akan meningkat hampir 6 kali lipat dalam satu dekade dibandingkan dengan nilai pada tahun 2020, dan lebih dari 10 kali lipat untuk materi partikulat.

Deposisi merkuri dan partikulat dari proses pengolahan dan captive power di berbagai jenis lahan



Sumber: Analisis CREA.

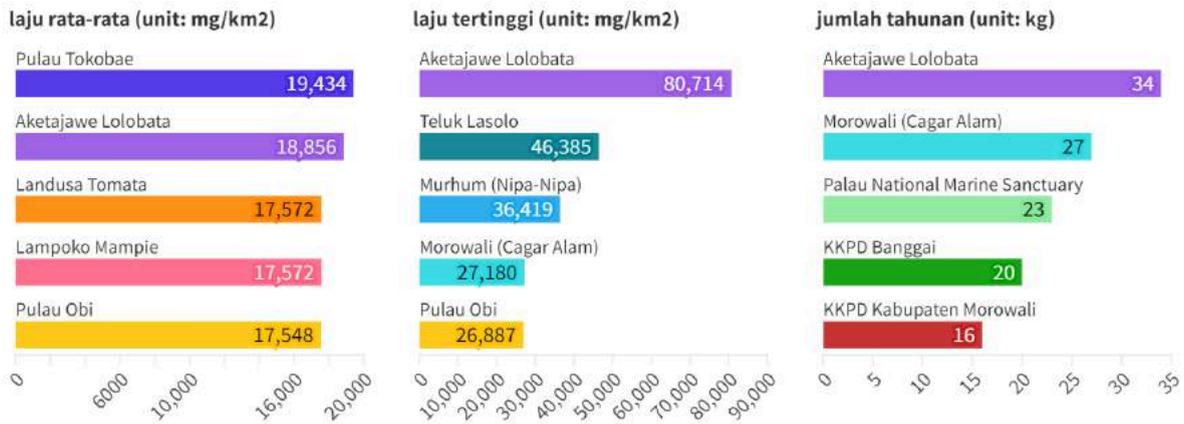
Gambar 51. Endapan tahunan merkuri dan partikel dari pabrik peleburan dan captive power berdasarkan kategori penggunaan lahan

Tak hanya kaya sumber daya mineral, Pulau Sulawesi, Maluku Utara, dan Maluku sudah lama dikenal kekayaan keanekaragaman hayatinya. Wilayah ini merupakan bagian penting dari Segitiga Terumbu Karang (Coral Triangle), salah satu ekosistem laut yang paling beragam dan kompleks secara biologis di planet ini (CTI-CFF, 2009). Total kawasan konservasi hutan dan laut terkini yang ditetapkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan untuk Pulau Sulawesi, Maluku Utara, dan Maluku adalah seluas 5 juta hektar atau 18% dari total luas Indonesia pada tahun 2022 (BPS, 2024).

Meskipun penyerapan dan biomagnifikasi sebenarnya sangat bergantung pada kondisi lokal, perkiraan laju pengendapan merkuri sangat memprihatinkan. Penilaian terhadap dampak yang terjadi saat ini merupakan hal yang mendesak, begitu juga dengan penerapan segera tindakan-tindakan untuk menangkap emisi merkuri. Gambar 52 dan 53

di bawah ini mencantumkan kawasan lindung dengan pengendapan merkuri dan partikel tertinggi yang diproyeksikan pada tahun 2030.

Endapan merkuri di lima kawasan lindung paling terdampak pada tahun 2030



Sumber: Analisis CREA.

Gambar 52. Endapan merkuri di lima kawasan lindung yang paling terkena dampak pada tahun 2030

Endapan partikulat di lima kawasan lindung paling terdampak pada tahun 2030



Sumber: Analisis CREA.

Gambar 53. Deposisi materi partikulat di lima kawasan lindung yang paling terkena dampak pada tahun 2030

Kesimpulan dan rekomendasi

Hilirisasi nikel telah menjadi sorotan publik, terutama mengingat permasalahan lingkungan, sosial, dan tata kelola (ESG), penurunan harga akibat surplus pasokan nikel Indonesia, serta potensi perubahan kebijakan nikel seiring transisi negara ke pemerintahan baru.

Pemerintahan saat ini yang dipimpin oleh Presiden Joko Widodo telah menekankan nilai tambah dalam negeri sebagai penggerak utama kebijakan hilirisasi. Meskipun nilai ekspor telah meroket, terdapat pertanyaan apakah strategi tersebut benar-benar memberikan nilai bagi perekonomian nasional. Produk nikel produksi dalam negeri dijadikan bahan mentah untuk diolah lebih lanjut menjadi produk yang akhirnya dijual kembali ke Indonesia. Kontribusi terhadap perekonomian lokal juga terbilang terbatas, mengingat insentif dan *tax holiday* yang ditawarkan kepada industri nikel, belum lagi kesenjangan upah antara pekerja lokal dan asing.

Dalam studi ini, CREA dan CELIOS memanfaatkan kesempatan untuk melakukan kajian terhadap dampak kebijakan hilirisasi nikel di tiga provinsi utama—Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara. Analisis ini dibuat untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai dampak ekonomi, serta dampak kesehatan dan lingkungan dari emisi yang terkait dengan pengolahan logam nikel dan PLTU *captive*.

Meskipun ketersediaan data emisi terbatas, CREA mampu menghasilkan perkiraan beban kesehatan dan ekonomi yang disebabkan oleh polusi udara yang dihasilkan dari pusat pengolahan nikel di Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara terhadap masyarakat yang tinggal di dekat dan sekitar pulau-pulau tersebut. Analisis menunjukkan bahwa pengoperasian penuh kapasitas produksi nominal akan mengakibatkan 5.000 kematian dan beban ekonomi sebesar USD3,42 miliar per tahun akibat dampak kesehatan terkait polusi udara.

CREA dan CELIOS merekomendasikan langkah-langkah berikut untuk memitigasi kerugian lingkungan dan ekonomi lebih lanjut terkait dengan perkembangan industri nikel saat ini:

- 1. Melakukan revisi terhadap peraturan terkait pembangunan PLTU di kawasan industri** dengan menghentikan seluruh rencana pembangunan PLTU baru, dan memberikan insentif penjualan listrik energi terbarukan secara *on-grid* dan *off-grid* ke kawasan industri pengolahan nikel.
- 2. Segera memasukkan rencana pensiun dini PLTU kawasan industri (*captive*) dalam kesepakatan JETP dan rencana pemerintah di bidang ketenagalistrikan,**

yaitu Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) dan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL).

3. **Pembatasan izin smelter baru di kawasan industri dan menata ulang seluruh standar terkait pengelolaan limbah, pengendalian emisi gas buang, dan keselamatan kerja** bagi semua perusahaan smelter yang sedang dan akan beroperasi. Standar yang diakui secara internasional dan semua standar industri yang relevan harus dipertimbangkan dalam mempertimbangkan ambang batas aman dan ambang batas yang ditetapkan di dalam peraturan.
4. **Meningkatkan kontribusi berupa royalti dan dana bagi hasil dari aktivitas smelter maupun pertambangan nikel kepada daerah.** Selain itu, Pemerintah dapat menerapkan pajak khusus untuk memberikan kompensasi kerugian terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat di sekitar wilayah pabrik smelter.
5. **Menumbuhkan keterlibatan aktif masyarakat lokal melalui diskusi publik yang rutin dan pelaksanaan program komunikasi, pendidikan, dan kesadaran masyarakat.** Masyarakat lokal mempunyai hak untuk sepenuhnya memahami dampak dari pembangunan industri nikel dan harus diikutsertakan dalam semua tahap pengambilan keputusan.
6. **Membangun transparansi dan akuntabilitas data emisi dan izin lingkungan hidup di tingkat perusahaan, termasuk seluruh hasil pemantauan dan evaluasi.** Ketika data tersebut sudah tersedia untuk akses publik, pembuat kebijakan dapat mengambil keputusan yang tepat serta dapat menjaga kepercayaan publik. Ketersediaan data ini juga akan memberikan insentif kepada industri secara keseluruhan untuk menjaga akuntabilitas dan menunjukkan upaya mitigasi dan komitmen dalam praktik berkelanjutan.
7. **Memperkuat tata kelola dengan melibatkan Pemerintah Daerah secara bermakna** dalam pengawasan aktivitas terkait pertambangan dan pengolahan nikel, pemberian akses terhadap dokumen perencanaan perusahaan smelter, dan peran aktif dalam menanggapi keluhan masyarakat.
8. **Mempersiapkan peta jalan dan kebijakan teknis yang diperlukan untuk mendiversifikasi perekonomian lokal ke sektor non-ekstraktif** yang memberikan nilai tambah lebih besar dan lebih berkelanjutan untuk pertumbuhan jangka panjang.
9. **Menetapkan persyaratan ESG (Environmental, Social, and Governance/Lingkungan, Dampak Sosial, dan Tata Kelola) yang ketat di sektor keuangan.** Bank harus menghindari pemberian pembiayaan kepada perusahaan yang gagal memenuhi standar perlindungan lingkungan dan tenaga kerja, dan mengintegrasikan pengungkapan ESG untuk menunjukkan integritas operasional. Otoritas Jasa Keuangan (OJK) juga diminta untuk merumuskan Taksonomi

Berkelanjutan Indonesia dengan mengecualikan peluang pembiayaan PLTU kawasan industri sebagai pembiayaan hijau/transisi.

- 10. Menumbuhkan industri nikel Indonesia dengan mendiversifikasi pasar olahan dengan komoditas nikel berstandar tinggi untuk menstabilkan harga jual,** khususnya sebagai respons terhadap Undang-Undang Pengurangan Inflasi AS (2022) dan Undang-Undang Mineral Kritis Uni Eropa.
- 11. Secara konsisten mengembangkan rantai pasok nikel dalam negeri yang terintegrasi untuk mempercepat pemanfaatan energi terbarukan dan transportasi listrik secara nasional** dengan mengundang investasi yang menerapkan teknologi maju dan sadar lingkungan.
- 12. Mereformasi prioritas insentif fiskal dengan mengikutsertakan industri daur ulang baterai, dibandingkan fokus saat ini yang hanya mencakup industri pertambangan dan pengolahan nikel.** Hal ini akan meningkatkan penggunaan mineral transisi daur ulang untuk *Energy Saving Storage* (ESS) dan penggunaan lain dalam teknologi energi terbarukan, yang akhirnya mendukung efisiensi penggunaan nikel dan membantu mengamankan ketersediaan cadangan nikel di Indonesia dalam jangka panjang.

Referensi

- Achakulwisut, P., Brauer, M., Hystad, P. and Anenberg, S. C. (2019). Global, National, and Urban Burdens of Paediatric Asthma Incidence Attributable to Ambient NO₂ Pollution: Estimates from Global Datasets. *Lancet*, 3 (4): E166-E178. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30046-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30046-4)
- Anenberg, S., Henze, D., Tinney, V., Kinney, P., Raich, W., *et al.* (2018). Estimates of the Global Burden of Ambient PM_{2.5}, Ozone, and NO₂ on Asthma Incidence and Emergency Room Visits. *Environmental Health Perspectives*, 126(10). <https://doi.org/10.1289/EHP3766>
- Anderson, J. (2023, April 11). Are days numbered for Indonesia's kilns? Skarn Associates. <https://www.skarnassociates.com/insights/indonesia>
- The Audit Board of the Republic of Indonesia (Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia, BPK) - Legal Documentation and Information Network (*Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum*, JDIH) (BPK-JDIH). (2021, February 2). Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Government Regulation (PP) Number 22 of 2021 concerning Implementation of Environmental Protection and Management. Database Peraturan | JDIH BPK. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>
- Barus, B., Tarigan, S. D., Tejo, R. K., & Stanny, Y. A. (2022). Development of a land stability index for land damage assessment: The case of a nickel mine, north Konawe, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(4), 3695. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.094.3695>
- Bhawono, A. (2023, October 10). Sulawesi Kian Hancur oleh over Eksploitasi Nikel. *betahita.id*. <https://betahita.id/news/detail/9346/sulawesi-kian-hancur-oleh-over-eksploitasi-nikel.html?v=1700262676>
- Birchby, D., Stedman, J., Whiting, S. and Vedrenne, M. (2019). Air Quality Damage Cost Update 2019. 2019. Ricardo/ED59323/Issue Number 2.0. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1902271109_Damage_cost_update_2018_FINAL_Issue_2_publication.pdf
- Brandt, S.J., Perez, L., Künzli, N., Lurmann, F. and McConnell, R. (2012). Costs of childhood asthma due to traffic-related pollution in two California communities. *European Respiratory Journal*, Aug. 2012, 40(2): 363-370. <https://doi.org/10.1183/09031936.00157811>
- Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., *et al.* (2018). Global Estimates of Mortality Associated with Long-Term Exposure to Outdoor Fine Particulate Matter. *Proceeding of the National Academies of Science*, 115 (38): 9592-9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>
- Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS), Central Agency of Statistics of Indonesia. (2024, January 15). Luas Kawasan Hutan Dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, 2017-2022. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTcxNiMx/luas-kawasan-hutan-dan-kawasan-konservasi-perairan-indonesia-berdasarkan-surat-keputusan-menteri-lingkungan-hidup-dan-kehutanan--2017-2021.html>
- Chawanpaiboon, S., Vogel, J., Moller, A., Lumbiganon, P., Petzold, M., *et al.* (2018). Global, Regional,

and National Estimates of Levels of Preterm Birth in 2014: A Systematic Review and Modelling Analysis. *Lancet Global Health*, 2018. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30451-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30451-0)

Chen, Y., Fan, Y., Huang, Y., Liao, X., Xu, W., & Zhang, T. (2024). A comprehensive review of toxicity of coal fly ash and its leachate in the ecosystem. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269, 115905. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115905>

Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA). (2023, October 19). Emerging captive coal power: Dark clouds on Indonesia's clean energy horizon.

<https://energyandcleanair.org/publication/emerging-captive-coal-power-in-indonesia/>

Constitutional Court of Indonesia (Mahkamah Konstitusi Republik Indonesia). (2022, January 19). Ahli: UU Minerba Kriminalisasi Pembela HAM.

<https://www.mkri.id/index.php?page=web.Berita&id=17949&menu=2>

Coral Triangle Initiative on Coral Reefs Fisheries and Food Security (CTI-CFF). (2009, May 15). CTI-CFF leader's declaration.

<https://www.coraltriangleinitiative.org/library/cti-cff-leaders-declaration>

European Environment Agency (EEA). (2014). Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2012 — an updated assessment. EEA Technical report No 20/2014. <https://www.eea.europa.eu/publications/costs-of-air-pollution-2008-2012>

Environment Australia, National Pollutant Inventory. (1999, June). Emission Estimation Technique Manual for Nickel Concentrating, Smelting and Refining, Table 3 - Emission Factors for Dust Generation.

<https://www.dcceew.gov.au/environment/protection/npi/reporting/industry-reporting-materials/emission-estimation-technique-manuals/emission-estimation-technique-manual-nickel-concentrating-smelting-and-refining>

EURELECTRIC and VGB (2010). European Wide Sector Specific Calculation Method for Reporting to the European Pollutant Release and Transfer Register.

https://wiki.prtr.thru.de/images/1/12/EURELECTRIC-VGB_E-PRTR_june2010.pdf

EU Joint Research Centre (JRC), JRC Science for Policy Report. (2017). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries, Table 8.20: Emissions to air from primary ferro-nickel production.

https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC107041_NFM_bref2017.pdf

European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) / European Environment Agency (EEA). (2019a, October 17). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, 2.C.3 Aluminium production 2019. Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.3 Aluminium production, primary aluminium production.

<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/2-industrial-processes/2-c-metal-production/2-c-3-aluminium-production/view>

European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) / European Environment Agency (EEA). (2019b, October 17). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, 2.C.2 Ferroalloys production, Table 3.1 Tier 1 emission factors for source category 2.C.2 Ferroalloys production.

<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/2-industrial-processes/2-c-metal-production/2-c-2-ferroalloys-production/view>

- European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) / European Environment Agency (EEA). (2019c, October 17). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, 1.A.1 Energy Industries, Table 3-17: Tier2 emission factors for source category 1.A.1.a, gas turbines using gaseous fuels. European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-1-energy-industries/view>
- European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) / European Environment Agency (EEA). (2019d, October 17). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, 1.A.1 Energy Industries, Table 3-18: Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a, gas turbines using gas oil.
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-1-energy-industries/view>
- Exponent. (2015). CALPUFF Modeling System. <http://www.src.com>
- Fitriani, F. F. (2023, December 12). BOS IBC Ungkap Sederet Keuntungan Dari Hilirisasi Baterai Listrik. *Bisnis.com*.
<https://ekonomi.bisnis.com/read/20231212/9/1723447/bos-ibc-ungkap-sederet-keuntungan-dari-hilirisasi-baterai-listrik>
- Ginting, P., & Moore, E. (2021, November 25). Indonesia Morowali Industrial Park (IMIP). *The People's Map of Global China*.
<https://thepeoplesmap.net/project/indonesia-morowali-industrial-park-imip/>
- Handayani, L. (2023, November 10). Kementerian ESDM Menampik Anggapan Cadangan Nikel Habis 6 Tahun Lagi. *Media Nikel Indonesia*.
<https://nikel.co.id/2023/11/07/kementerian-esdm-menampik-anggapan-cadangan-nikel-habis-6-tahun-lagi/>
- Handayani, L. (2024, January 11). Insiden Kebakaran smelter Terjadi Berulang, Berikut daftar Nama Perusahaannya. *Media Nikel Indonesia*.
<https://nikel.co.id/2024/01/11/insiden-kebakaran-smelter-terjadi-berulang-berikut-daftar-nama-perusahaannya/>
- Hidayat, B., & Hermawan, E. (2022, February 3). Tentacles of the Nickel Mines.
<https://pulitzercenter.org/stories/tentacles-nickel-mines>
- Huangfu, P. and Atkinson, R. (2020). Long-Term Exposure to NO₂ and O₃ and All-Cause and Respiratory Mortality: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environment International*, 144, 2020, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>
- Huber, I. (2021, December 8). Indonesia's nickel industrial strategy. CSIS | Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/indonesias-nickel-industrial-strategy>
- International Energy Agency (IEA). (2022, September). An energy sector roadmap to net zero emissions in Indonesia.
<https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-net-zero-emissions-in-indonesia>
- International Energy Agency (IEA). (2023, July). Critical minerals market review 2023.
<https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023>
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (2020). GBD Results.
<http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>

- Just Energy Transition Partnership Indonesia Secretariat (JETP Secretariat). (2023, November 21). Comprehensive Investment and Policy Plan 2023. <https://jetp-id.org/cipp>
- Khreis, H., Kelly, C., Tate, J., Parslow, R., Lucas, K. and Nieuwenhuijsen, M. (2017). Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Risk of Development of Childhood Asthma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental International*, 100: 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.012>
- Kompas. (2023, November 7). Perairan Halmahera Tercemar Logam Berat. <https://www.kompas.id/baca/nusantara/2023/11/06/perairan-halmahera-tercemar-logam-berat>
- Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R, Ma, R., Hughes, E., *et al.* (2009). Extended Follow-Up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality. *Research Reports Health Effects Institute*, 140: 5-114. http://westrk.org/CARBdocs/Krewski_052108.pdf
- Melvin, T. (2023, May 26). Nikel 101: Perbedaan Produk Akhir nckl, mbma, inco, Dan ANTM — Stockbit snips. *Stockbit Snips | Berita Saham*. <https://snips.stockbit.com/unboxing/nikel-101-perbedaan-produk-akhir-nckl-mbma-inco-dan-antm>
- Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR) - *KESDM, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*. (2021, July). Grand Strategy Mineral dan Batubara, Arah Pengembangan Hulu Hilir Mineral Utama dan Batubara Menuju Indonesia Maju; Grand Strategy for Minerals and Coal, Upstream and Downstream Development Directions Main Minerals and Coal Towards Advanced Indonesia. Retrieved December 5, 2023, from <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-buku-grand-strategy-komoditas-minerba.pdf>
- Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR-JDIH). (2019). Legal Documentation and Information Network (*Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum, JDIH*). Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources Number 11 of 2019 concerning the Second Amendment to the Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources Number 25 of 2018 concerning the Business of Mineral and Coal Mining. <https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/1946/detail>
- Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR), Directorate General of Minerals and Coal - Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. (Dec 2019). Electricity Demand of Metal Processing Facilities, *Kebutuhan Tenaga Listrik Fasilitas Pemurnian*. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/be8be-materi-3-minerba-kebutuhan-tenaga-listrik-smelter-dan-hilirisasi-batubara.pdf
- Ministry of Communication and Information (Kominfo) - *Kominfo, Kementerian Komunikasi dan Informatika*. (2023, July 8). Indonesia.go.id - Nilai Ekspor Hilirisasi Nikel Melonjak 745%. Portal Informasi Indonesia, Indonesia Information Portal. <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/7255/nilai-ekspor-hilirisasi-nikel-melonjak-745?lang=1>
- Ministry of Industry. (n.d.) *Kemenperin, Kementerian Perindustrian*. Production Capacity - Kapasitas Produksi. *Program Peningkatan Penggunaan Produk Dalam Negeri - P3DN*, Program to Increase Domestic Product Consumption. <https://pusatp3dn.kemenperin.go.id/>

Ministry of National Development Planning / National Development Planning Agency, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional / Bappenas, Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2023, October). Rancangan Akhir RPJPN 2025-2045. <https://indonesia2045.go.id/aspirasi>

Mongabay Environmental News. (2022, February 16). Red seas and no fish: Nickel mining takes its toll on Indonesia's Spice Islands. <https://news.mongabay.com/2022/02/red-seas-and-no-fish-nickel-mining-takes-its-toll-on-indonesias-spice-islands/>

Myllyvirta, L. (2020). Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels. Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA). <https://energyandcleanair.org/publication/quantifying-the-economic-costs-of-air-pollutio>

OECD. (2012). Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies. <https://doi.org/10.1787/9789264130807-en>

United States Environmental Protection Agency. (2003, June). AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, Fifth Edition, Volume I Chapter 11: Mineral Products Industry, 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing, Measurement of PM10 and PM2.5 Emission Factors at a Stone Crushing Plant. https://gaftp.epa.gov/ap42/ch11/s1902/draft/ref_15db11s1902%20_june2003.pdf

United Nations Environment Programme (UNEP). (2023, February). Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases, Table 5-27: Preliminary default input factors for mercury in various natural gas qualities. UN Environment Document Repository Home. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30684/HgTlktRef.pdf>

Sapkota, A., Chelikowsky, A., Nachman, K., Cohen, A. and Ritz, B. (2012). Exposure to Particulate Matter and Adverse Birth Outcomes: A Comprehensive Review and Meta-Analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5: 369-381. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0106-3>

Setiawan, V. N. (2023, July 25). Tegas! Luhut: Limbah Nikel Tidak Diizinkan Dibuang Ke Laut. CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20230725142816-4-457139/tegas-luhut-limbah-nikel-tidak-diizinkan-dibuang-ke-laut>

Setiawan, V. N. (2023, November 27). Top! Tahun Depan RI Bakal Produksi Perdana Baterai Listrik. CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20231127132324-4-492332/top-tahun-depan-ri-bakal-produksi-perdana-baterai-listrik>

Cabinet Secretariat of the Republic of Indonesia (Setkab), Setkab - Sekretariat Kabinet Republik Indonesia. (2023, November 17). APEC summit: President Jokowi unveils Indonesia's investment priority sectors. <https://setkab.go.id/en/apec-summit-president-jokowi-unveils-indonesias-investment-priority-sectors/>

Statista. (2022, May 31). Nickel demand worldwide 2019-2023. <https://www.statista.com/statistics/273653/global-nickel-demand/>

Swain, E. B., Engstrom, D. R., Brigham, M. E., Henning, T. A., & Brezonik, P. L. (1992). Increasing rates of atmospheric mercury deposition in Midcontinental North America. *Science*, 257(5071), 784-787. <https://doi.org/10.1126/science.257.5071.784>

- SYSTEMIQ. (2023, November 30). Breakthrough effect in ASEAN - positive tipping points report. <https://www.systemiq.earth/breakthrough-effect-asean/>
- Trimegah Bangun Persada (TBPNickel), Harita Nickel. (2023, May 31). Official! Indonesia has the first nickel sulfate factory in Indonesia and the largest in the world. <https://tbpnickel.com/media/press-release/operational/resmi-ri-miliki-pabrik-nikel-sulfat-pertama-di-indonesia-dan-terbesar-di-dunia>
- Tenggara Strategics (The Jakarta Post). (2024, January 10). Analysis: Safety standards under scrutiny after explosion in Morowali - Academia - The Jakarta post. <https://www.thejakartapost.com/opinion/2024/01/10/analysis-safety-standards-under-scrutiny-after-explosion-in-morowali.html>
- Trasande, L., Malecha, P. and Attina, T. (2016). Particulate Matter Exposure and Preterm Birth: Estimates of U.S. Attributable Burden and Economic Costs. *Environmental Health Perspectives*, 124 (12). <https://doi.org/10.1289/ehp.1510810>
- Viscusi, W. K. and Masterman, C. J. (2017). Income Elasticities and Global Values of a Statistical Life. *Journal of Benefit-Cost Analysis* 8(2): 226-250. <https://doi.org/10.1017/bca.2017.12>
- WALHI Sulawesi Selatan. (2023, November 17). Fakta Ekologi volume VII 'Tanamalia dalam Angka: Fakta Kehidupan Sosial Ekonomi Masyarakat Loeha Raya'. <https://walhisulsel.or.id/4111-fakta-ekologi-volume-vii-tanamalia-dalam-angka-fakta-kehidupan-sosial-ekonomi-masyarakat-loeha-raya/>
- Wang, C. (2022, January 18). Interpretation of the 2022 “Guidelines for ecological environmental protection of foreign investment cooperation and construction projects”. Green Finance & Development Center. <https://greenfdc.org/interpretation-2022-guidelines-ecological-environmental-protection-of-foreign-investment-cooperation-and-construction-projects/>
- Wei, W., Samuelsson, P. B., Tilliander, A., Gyllenram, R., & Jönsson, P. G. (2020). Energy consumption and greenhouse gas emissions of nickel products. *Energies*, 13(21), 5664. <https://doi.org/10.3390/en13215664>
- World Health Organization (WHO) (2013). WHO: Health Risks of Air Pollution in Europe-HRAPIE Project. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1
- Wicaksono, R. A. (2022, September 29). Wajah Industri Nikel Kini, The Current Face of Nickel Industry. *betahita.id*. <https://betahita.id/news/detail/7983/wajah-industri-nikel-kini.html?v=1671190601>
- Wicaksono, R. A. (2023, May 22). Kawasan Hutan Seluas 765 Ribu Hektare jadi Konsesi Tambang Nikel. *betahita.id*. <https://betahita.id/news/detail/8792/kawasan-hutan-seluas-765-ribu-hektare-jadi-konsesi-tambang-nikel.html?v=1684714832>
- World Bank Group. (1998, July). Pollution Prevention and Abatement Handbook, Thermal Power: Guidelines for New Plants. International Finance Corporation (IFC). <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/1990/thermnew-ppah.pdf>

World Health Organization (WHO). (2021, September 22). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

World Bank Group, International Finance Corporation. (2007, April 30). Environmental, Health, and Safety Guidelines - Base Metal Smelting and Refining. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/605891489653831342/pdf/113559-WP-ENGLISH-Smelting-and-Refining-PUBLIC.pdf>

Zheng, X., Ding, H., Jiang, L., Chen, S., Zheng, J., *et al.* (2015). Association Between Air Pollutants and Asthma Emergency Room Visits and Hospital Admissions in Time Series Studies: a Systematic Review and Meta-analysis. *PLoS One*, 10(9):e0138146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138146>

Zhu, M., Lou, Z., Cui, R. Y., Cheng, X., Li, S., Li, D., Tumiwa, F., Arinaldo, D., Li, W., & Hultman, N. (2023, October 6). Decarbonizing captive coal power plants in Indonesia and implications for Chinese stakeholders: Trends, challenges and opportunities. Center for Global Sustainability, University of Maryland. <https://cgs.umd.edu/research-impact/publications/decarbonizing-captive-coal-power-plants-indonesia-and-implications>

Lampiran

Lampiran A1 - Input dan asumsi inventarisasi emisi

Table A1a. Volume dan konsentrasi gas buang

Variable	Value		
Flue Gas Volume (FGV)			
Captive power, PLTU - batubara (dikoreksi ke 7% O ₂)	3,411 Nm ³ /MWh (40% efisiensi termal) 3.411 Nm ³ /h/kW		
Diesel generator	3,241 Nm ³ /MWh (35% efisiensi termal) 3.241 Nm ³ /h/kW		
Tungku peleburan	30,443 Nm ³ /t 3.475 Nm ³ /h/tpa		
Flue Gas Concentration (FGC)			
Captive power, PLTU - batubara (Permen LHK NOMOR P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019; kondisi pengukuran 25°C, 1 atm, 7% O ₂) Unit: mg/Nm ³	<u>Sebelum 2019</u> NO _x , 550 SO ₂ , 550 PM, 100 Hg, 0.03	<u>Sesudah 2019</u> NO _x , 200 SO ₂ , 200 PM, 50 Hg, 0.03	
Captive power, coal (ringkasan data pengukuran, dikoreksi ke 7% O ₂) Unit: mg/Nm ³	<u>12 PLTU di IMIP</u> NO ₂ , 228 (180-276) SO ₂ , 220 (150-291) PM, 130 (54-206)		
Diesel generator (Permen LHK NOMOR 11 TAHUN 2021; kondisi pengukuran 25°C, 1 atm, 15% O ₂) Unit: mg/Nm ³	<u>100-500 kW</u> NO _x , 3400 SO ₂ , - PM, - CO, 170	<u>501-1000 kW</u> NO _x , 1850 SO ₂ , 160 PM, 95 CO, 77	<u>1001-3000 kW</u> NO _x , 2300 SO ₂ , 150 PM, 90 CO, 168
Tungku peleburan - Pengereng (<i>dryer</i>), tungku atau tanur (ringkasan data pengukuran, dikoreksi ke 10% O ₂) Unit: mg/Nm ³	<u>36 unit dryer di IMIP</u> NO ₂ , 440 (182-698) SO ₂ , 143 (4-253) PM, 130 (50-710)		<u>32 unit tanur di IMIP</u> NO ₂ , 105 (15-226) SO ₂ , 105 (42-167) PM, 1787 (921-2653)

Variable	Value
Proses peleburan - Produksi aluminium, primer	NO _x , 1 (0.5-2) kg/Mg aluminium SO _x , 4.5 (0.8-25) kg/Mg aluminium TSP, 0.9 (0.2-4) kg/Mg aluminium PM ₁₀ , 0.7 (0.17-3.2) kg/Mg aluminium PM _{2.5} , 0.6 (0.13-2.4) kg/Mg aluminium
Proses peleburan - Produksi Ferroalloy	TSP, 1,000 (100-10,000) g/Mg alloy PM ₁₀ , 850 (85-8,500) g/Mg alloy PM _{2.5} , 60 (600-6,000) g/Mg alloy
Proses peleburan - Penggunaan gas sebagai bahan bakar proses - Produksi listrik dan panas publik, Tenaga publik - Turbin gas, Bahan bakar gas	NO _x , 48 (28-68) g/GJ SO _x , 0.281 (0.169-0.393) g/GJ TSP, 0.2 (0.05-0.8) g/GJ PM ₁₀ , 0.2 (0.05-0.8) g/GJ PM _{2.5} , 0.2 (0.05-0.8) g/GJ Hg, 0.002857142857 (0.01-1) mg/GJ
Proses peleburan - Penggunaan gas sebagai bahan bakar proses - Produksi listrik dan panas publik, Tenaga publik - Turbin gas, Minyak Gas	NO _x , 398 (239-557) g/GJ SO _x , 46.5 (4.65-465) g/GJ TSP, 1.95 (0.65-5.85) g/GJ PM ₁₀ , 1.95 (0.65-5.85) g/GJ PM _{2.5} , 1.95 (0.65-5.85) g/GJ Hg, 0.053 (0.005-0.53) mg/GJ

Tabel A1b. Kapasitas produksi perusahaan pengolahan logam yang beroperasi di tiga provinsi yang dievaluasi; Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara, beserta Jenis Komoditas dan Tanggal Operasi Komersial (COD)

Sulawesi Tengah

Perusahaan	Komoditas logam	Kategori logam	Output (ton per tahun, tpa, asumsi berat kotor)	COD
Hua Chin Aluminum Indonesia	Aluminium		500,000	2023
Indonesia Ruipu Nickel Chrome Alloy	Iron & steel		1,146,000	2018
Dexin Steel Indonesia	Iron & steel		3,250,000	2020
Indonesia Tsingshan Stainless Steel	Iron & steel		1,800,000	2021
Cahaya Smelter Indonesia	Nickel	FeNi	150,000	2020
Hengjaya Nickel Industry	Nickel	FeNi	150,000	2021
Gunbuster Nickel Industry	Nickel	FeNi	1,800,000	2021
QMB New Energy Materials Indonesia	Nickel	MHP	20,000	2022
Ang and Fang Brother	Nickel	FeNi	130,508	2023
Sulawesi Resources	Nickel	FeNi	152,400	2023
Wanxiang Nickel Indonesia	Nickel	FeNi	351,018	2023
Fajar Metal Industry	Nickel	Ni Sulfide	60,000	2024
Teluk Metal Industry	Nickel	Ni Sulfide	60,000	2024
Ocean Sky Metal Industry	Nickel	FeNi	380,000	2025
Vale Indonesia (Bahodopi Nickel Smelting Indonesia)	Nickel	FeNi	73,000	2025
Sulawesi Mining Investment	Nickel	NPI	300,000	2015
COR Industri Indonesia	Nickel	NPI	92,400	2017
Tsingshan Steel Indonesia	Nickel	NPI	507,000	2017
Indonesia Ruipu Nickel Chrome Alloy	Nickel	NPI	307,500	2018

Perusahaan	Komoditas logam	Kategori logam	Output (ton per tahun, tpa, asumsi berat kotor)	COD
Bukit Smelter Indonesia	Nickel	NPI	140,500	2020
Ranger Nickel Industry	Nickel	NPI	150,000	2021
Lestari Smelter Indonesia	Nickel	NPI	300,000	2021
Walsin Nickel Industrial Indonesia	Nickel	NPI	300,000	2021
Indonesia Guang Ching Nickel and Stainless Steel Industry	Nickel	NPI	600,000	2021
Indonesia Tsingshan Stainless Steel	Nickel	NPI	600,000	2021
Zhao Hui Nickel	Nickel	NPI	50,000	2023
Arthabumi Sentra Industri	Nickel	NPI	72,965	2023
Anugrah Tambang Sejahtera	Nickel	NPI	144,000	2023

Sulawesi Tenggara

Perusahaan	Komoditas logam	Kategori logam	Output (ton per tahun, tpa, asumsi berat kotor)	COD
Vale Indonesia (Pomalaa)	Cobalt		15,000	2026
Obsidian Stainless Steel	Iron & steel		3,000,000	2022
Aneka Tambang (Pomalaa)	Nickel	FeNi	90,000	2010
Virtue Dragon Nickel Industry	Nickel	FeNi	1,000,000	2021
Obsidian Stainless Steel	Nickel	FeNi	2,200,000	2022
Ceria Nugraha Indotama	Nickel	FeNi	252,728	2023
SBC Prime Metal	Nickel	FeNi	200,000	2025
Surya Saga Utama	Nickel	FeNi	302,506	2025
Adhikara Cipta Mulia	Nickel	MHP	76,500	2025

Perusahaan	Komoditas logam	Kategori logam	Output (ton per tahun, tpa, asumsi berat kotor)	COD
Vale Indonesia (Pomalaa)	Nickel	MHP	120,000	2026
Kinlin Nickel Industri	Nickel	NPI	17,000	2021
Mapan Asri Sejahtera	Nickel	NPI	21,531	2023
Bintang Smelter Indonesia	Nickel	NPI	40,000	2023
Mahkota Konweeha	Nickel	NPI	62,000	2023
Artha Mining Industry	Nickel	NPI	200,000	2023
Macika Mineral Industri	Nickel	NPI	276,264	2023
Integra Mining Nusantara	Nickel	NPI	285,220	2024
Sambas Minerals Mining	Nickel	NPI	104,544	2025
Asia Mining Minerals	Nickel	NPI	160,712	2025
Genba Multi Mineral	Nickel	NPI	500,000	2025

Maluku Utara

Perusahaan	Komoditas logam	Kategori logam	Output (ton per tahun, tpa, asumsi berat kotor)	COD
Obi Nickel Cobalt	Cobalt		75,000	2024
Weda Bay Nickel	Iron & steel		300,000	2020
Karunia Mitra Abadi	Iron & steel		601,920	2023
Megah Surya Pertiwi (1620)	Nickel	FeNi	198,158	2016
Megah Surya Pertiwi (1219)	Nickel	FeNi	66,053	2017
Wanatiara Persada	Nickel	FeNi	161,740	2019
Weda Bay Nickel	Nickel	FeNi	180,000	2020

Aneka Tambang (Expansion)	Nickel	FeNi	64,655	2021
Yashi Indonesia Investment	Nickel	FeNi	300,000	2021
Youshan Nickel Indonesia	Nickel	FeNi	300,000	2021
Angel Nickel Industry	Nickel	FeNi	637,500	2022
Sunny Metal Industry	Nickel	FeNi	400,000	2023
Obi Nickel Cobalt	Nickel	FeNi	65,000	2024
First Pasific Mining	Nickel	FeNi	30,000	2025
Perkasa Metal Industry	Nickel	FeNi	150,000	2025
Fajar Bhakti Lintas Nusantara (Expansion)	Nickel	FeNi	363,655	2025
Halmahera Jaya Feronikel	Nickel	FeNi	780,000	2025
Halmahera Persada Lygend	Nickel	MHP	96,000	2021
Huayue Nickel Cobalt	Nickel	MHP	115,000	2021
Huake Nickel Indonesia	Nickel	Ni Matte	58,000	2023
Fajar Bhakti Lintas Nusantara	Nickel	NPI	120,000	2015
Alchemist Metal Industry	Nickel	NPI	1,600,000	2022
Aneka Tambang (Niterra Haltim)	Nickel	NPI	160,000	2023
Teka Mining Resources	Nickel	NPI	300,000	2023

Table A1c. Kapasitas pembangkit listrik captive berdasarkan sumber bahan bakar, dipetakan ke perusahaan-perusahaan yang beroperasi di tiga provinsi yang dievaluasi; Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara

Perusahaan	Kapasitas pembangkit (MW)				
	Batu bara	PLN	Diesel	Gas	Hydro
Arthabumi Sentra Industri	15				
COR Industri Indonesia	15				
Sulawesi Resources	60				
Metal Smeltindo Selaras	130				
Tsingshan Steel Indonesia	130				
Wanxiang Nickel Indonesia	150				
Morowali Power Mandiri	250				
Indonesia Guang Ching Nickel and Stainless Steel Industry	300				
Lestari Smelter Indonesia	350				
Walsin Nickel Industrial Indonesia	350				
Hua Chin Aluminum Indonesia	380				
Sulawesi Mining Investment	510				
Indonesia Tsingshan Stainless Steel	1400				
Gunbuster Nickel Industry	2295				
Ang and Fang Brother		100	10		
Anugrah Tambang Sejahtera		146			
Bukit Smelter Indonesia					
Cahaya Smelter Indonesia					
Dexin Steel Indonesia					
Fajar Metal Industry					

Perusahaan	Kapasitas pembangkit (MW)				
	Batu bara	PLN	Diesel	Gas	Hydro
Hengjaya Nickel Industry					
Indonesia Ruipu Nickel Chrome Alloy					
Ocean Sky Metal Industry					
Oracle Nickel Industry					
QMB New Energy Materials Indonesia					
Ranger Nickel Industry					
Teluk Metal Industry					
Vale Indonesia (Bahodopi Nickel Smelting Indonesia)				500	
Zhao Hui Nickel					
Karunia Mitra Abadi	6				
Aneka Tambang (Niterra Haltim)	24				
First Pacific Mining	41				
Megah Surya Pertiwi (1620)	120				
Wanatiara Persada	150				
Megah Surya Pertiwi (1219)	165				
Perkasa Metal Industry	206				
Huake Nickel Indonesia	250				
Huayue Nickel Cobalt	250				
Libai Indonesia Metal Co	250				
Weda Bay Nickel	250				
Yashi Indonesia Investment	250				
Youshan Nickel Indonesia	250				

Perusahaan	Kapasitas pembangkit (MW)				
	Batu bara	PLN	Diesel	Gas	Hydro
Fajar Bhakti Lintas Nusantara	300				
Halmahera Persada Lygend	360				
Sunny Metal Industry	380				
Angel Nickel Industry	760				
Halmahera Jaya Feronikel	1074				
Indonesia Weda Bay Industrial Park	1140				
Obi Nickel Cobalt	1520				
Alchemist Metal Industry	2202				
Aneka Tambang (Expansion)			96		
Fajar Bhakti Lintas Nusantara (Expansion)			300		
Teka Mining Resources			14		
Trimegah Bangun Persada					
Kinlin Nickel Industri	2		2		
Mapan Asri Sejahtera	3				
Asia Mining Minerals	24		2		
Surya Saga Utama	30		10		
Aneka Tambang (Pomalaa)	60		100		
Virtue Dragon Nickel Industry	530				
Genba Multi Mineral	700				
Obsidian Stainless Steel	1780				
Adhikara Cipta Mulia			1		
Artha Mining Industry			2		
Bintang Smelter Indonesia		100			

Perusahaan	Kapasitas pembangkit (MW)				
	Batu bara	PLN	Diesel	Gas	Hydro
Ceria Metalindo Prima					
Ceria Nugraha Indotama		350			
Integra Mining Nusantara			4		
Macika Mineral Industri		3			
Mahkota Konweeha			3		
SBC Prime Metal		120			
Sambas Minerals Mining			3		

Lampiran A2 - Referensi dampak kesehatan terkait polusi udara

Tabel A2a. Data input dan asumsi yang digunakan dalam memperkirakan dampak kesehatan fisik

Kelompok usia	Dampak kesehatan	Polutan	Fungsi konsentrasi - respon	Kenaikan konsentrasi	Batas ambang tanpa risiko	Referensi	Data insiden
1-18	Kasus asma baru	NO ₂	1.26 (1.10 – 1.37)	10 ppb	2 ppb	Khreis <i>et al.</i> (2017)	Achakulwisut <i>et al.</i> (2019)
0-17	Kunjungan ke ruang gawat darurat karena asma	PM _{2.5}	1.025 (1.013 – 1.037)	10 µg/m ³	6 µg/m ³	Zheng <i>et al.</i> (2015)	Anenberg <i>et al.</i> (2018)
18-99	Kunjungan ke ruang gawat darurat karena asma	PM _{2.5}	1.023 (1.015 – 1.031)	10 µg/m ³	6 µg/m ³	Zheng <i>et al.</i> (2015)	Anenberg <i>et al.</i> (2018)
Bayi baru lahir	Kelahiran prematur	PM _{2.5}	1.15 (1.07 – 1.16)	10 µg/m ³	8.8 µg/m ³	Sapkota <i>et al.</i> (2012)	Chawanpaiboon <i>et al.</i> (2018)
20-65	Ketidakhadiran kerja	PM _{2.5}	1.046 (1.039 – 1.053)	10 µg/m ³	N/A	WHO (2013)	EEA (2014)
0-4	Kematian akibat infeksi saluran pernapasan bawah	PM _{2.5}	IHME (2020)		5.8 µg/m ³	IHME (2020)	IHME (2020)
25-99	Kematian akibat penyakit tidak menular,	PM _{2.5}	Burnett <i>et al.</i> (2018)		2.4 µg/m ³	Burnett <i>et al.</i> (2018)	IHME (2020)

Kelompok usia	Dampak kesehatan	Polutan	Fungsi konsentrasi - respon	Kenaikan konsentrasi	Batas ambang tanpa risiko	Referensi	Data insiden
	dibagi berdasarkan penyebab, serta akibat infeksi saluran pernapasan bawah						
25–99	Kecacatan yang disebabkan oleh diabetes, stroke, dan penyakit pernapasan kronis	PM _{2.5}	IHME (2020)		2.4 µg/m ³	Burnett <i>et al.</i> (2018)	IHME (2020)
25–99	Kematian dini	NO ₂	1.02 (1.01 – 1.04)	10 µg/m ³	4.5 µg/m ³	Huangfu & Atkinson (2020); NRT from Stieb <i>et al.</i> (2021)	IHME (2020)
25–99	Kematian dini	SO ₂	1.02 (1.01–1.03)	5 ppb	0.02 ppb	Krewski <i>et al.</i> (2009)	IHME (2020)

Note: Numeric values in the column “Concentration-response function” refer to odds ratio corresponding to the increase in concentrations given in the column “concentration change.” Literature references indicate the use of a non-linear concentration-response function. No-harm threshold refers to a concentration below which the health impact is not quantified, generally because the studies on which the function is based did not include people with lower exposure levels. Data on concentration-response relationships do not exist for all geographies, so a global risk model is applied to all cities. Incidence data are generally unavailable at the city level so national averages have to be applied.

Table A2b. *Data input dan asumsi yang digunakan untuk memperkirakan biaya ekonomi dari dampak kesehatan*

Outcome	Valuation at world average GDP/GNI per capita (2017 int. USD)	Valuation in Indonesia		Reference
		(current USD)	(current Rp)	
Work absence (sick leave days)	85	22	335,300	EEA (2014)
Number of children suffering from asthma due to pollution exposure (increased prevalence)	1,077	274	4,228,000	Brandt <i>et al.</i> (2012)
Deaths	2,637,000	663,900	10,260,000,000	Viscusi & Masterman (2017)
Deaths of children under 5	5,273,000	1,328,000	20,510,000,000	OECD (2012)
Asthma emergency room visits	232	59	911,800	Brandt <i>et al.</i> (2012)
Preterm births	107,700	27,370	422,800,000	Trasande <i>et al.</i> (2016)
Years lived with disability	28,480	7,171	110,800,000	Birchby <i>et al.</i> (2019)

Table A2c. Perkiraan biaya Pengendalian Pencemaran Udara (*Air Pollutant Control*) yang diterapkan pada smelter dan captive power

Teknologi	Polutan yang dikontrol	Biaya instalasi, pemasangan satu kali		Operasional dan pemeliharaan, tahunan	
		(USD saat ini/kW)	(Rp saat ini/kW)	(USD saat ini/kW)	(Rp saat ini/kW)
Diasumsikan untuk PLTU captive					
Flue Gas Desulfurization (FGD)	SO ₂	69	1,026,000	1.21	17,913
Selective Catalytic Reduction (SCR), with limestone	NO _x	58	860,000	0.87	12,957
	Gabungan	127	1,886,000	2.08	30,870

Teknologi	Polutan yang dikontrol	Biaya instalasi, pemasangan satu kali		Operasional dan pemeliharaan, tahunan	
		(USD saat ini/ton produksi nikel)	(Rp saat ini/ton produksi nikel)	(USD saat ini/ton produksi nikel)	(Rp saat ini/ton produksi nikel)
Diasumsikan untuk unit peleburan atau smelters					
Catatan: PLTU diasumsikan dilengkapi dengan sistem kontrol partikel					
Electrostatic precipitator (ESP)	PM	19	294,000	2	29,000
	Gabungan	19	294,000	2	29,000

Lampiran A3 - Biaya investasi dan operasional APC, dan biaya ekonomi polusi udara yang berkurang dengan pemasangan APC

Unit: juta USD; Beban ekonomi - APC, menggabungkan biaya investasi satu kali APC dan biaya operasional tahunan, serta pengurangan beban ekonomi dengan pemasangan APC

Tahun	Provinsi	Investasi APC, satu kali pasang	Operasional APC, tahunan	Beban ekonomi berkurang dengan APC	Beban ekonomi - APC	Beban ekonomi - BAU
2020	Sulawesi Tengah	236,25	5,91	23,71	265,87	82,45
2021		56,31	7,32	27,30	90,93	106,95
2025		332,60	24,46	197,81	554,86	666,14
2030		0,00	27,40	233,38	260,78	796,61
2035		0,00	27,40	262,37	289,78	895,39
2020	Nasional	371,26	9,19	38,30	418,75	137,30
2021		178,50	12,91	48,49	239,90	188,99
2025		980,82	64,01	522,58	1567,41	2371,55
2030		0,00	86,08	700,66	786,74	3119,41
2035		0,00	86,08	787,89	873,97	3507,20
2020	Maluku Utara	58,34	1,88	5,79	66,02	24,17
2021		70,74	3,34	9,35	83,43	42,63
2025		368,40	20,84	98,51	487,75	550,04
2030		0,00	34,63	135,79	170,42	706,26
2035		0,00	34,63	152,80	187,42	794,58
2020	Sulawesi Tenggara	76,66	1,41	8,80	86,86	30,68
2021		51,46	2,25	11,83	65,53	39,41
2025		279,82	18,72	226,26	524,80	1155,37
2030		0,00	24,05	331,49	355,54	1616,53
2035		0,00	24,05	372,72	396,77	1817,23