

Analisis Dampak Industri Baja terhadap Kondisi Sosial dan Kesehatan Masyarakat di Era Dekarbonisasi



Laporan Riset AEER

Analisis Dampak Industri Baja terhadap Kondisi Sosial dan Kesehatan Masyarakat di Era Dekarbonisasi

**Tim Penulis
Peneliti AEER**

Timotius Rafael
Yuyun Hikmatul Uyun

Tim Review

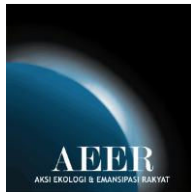
Akademisi Fakultas Kesehatan Masyarakat (FKM), Universitas Indonesia

dr. Agustin Kusumayati, M.Sc., Ph.D.

Dr. Zakianis, S.K.M., M.K.M.

Fitri Kurniasari, S.K.M., M.K.K.K., Ph.D.

Diterbitkan oleh:



Aksi Ekologi dan Emansipasi Rakyat (AEER)

Oktober 2025

Laporan Riset AEER

Analisis Dampak Industri Baja terhadap Kondisi Sosial dan Kesehatan Masyarakat di Era Dekarbonisasi

Ukuran : 17x23,8 cm, Halaman : xii + 102

Penulis : Timotius Rafael
Yuyun Hikmatul Uyun

Reviewer : dr. Agustin Kusumayati, M.Sc., Ph.D.
Dr. Zakianis, S.K.M., M.K.M.
Fitri Kurniasari, S.K.M., M.K.K.K., Ph.D.

Penanggung Jawab : Pius Ginting

Desain & Tata Letak : Taqi

Diterbitkan oleh : Perkumpulan Aksi Ekologi dan Emansipasi Rakyat (AEER)

Tentang Aksi Ekologi dan Emansipasi Rakyat (AEER)

AEER adalah sebuah organisasi lingkungan di Indonesia yang didirikan pada tahun 2017, yang berdedikasi untuk menangani masalah keadilan ekologi dan sosial, terutama yang diperburuk oleh praktik industri yang tidak berkelanjutan. Misi AEER adalah penyelamatan komunitas yang terdampak oleh kerusakan lingkungan dan mendorong kebijakan yang mendukung keberlanjutan. Organisasi ini secara aktif berkampanye untuk mengurangi ketergantungan negara pada bahan bakar fosil, terutama batubara, sambil mendorong transisi ke alternatif energi rendah karbon. Komitmen ini tercermin dalam target mereka untuk membantu mengurangi emisi karbon Indonesia sebesar 446 juta ton CO₂ di sektor energi pada tahun 2060.

Organisasi ini bekerja sama dengan mitra lokal dan internasional, termasuk kelompok masyarakat, badan pemerintah, dan NGO lainnya, untuk melakukan penelitian dan kampanye advokasi. Kegiatan AEER sangat penting dalam konteks pertumbuhan industri nikel di Indonesia, yang meskipun berperan penting dalam transisi global menuju kendaraan listrik, juga menimbulkan tantangan lingkungan dan sosial yang signifikan. Dengan meningkatkan kesadaran, menghasilkan laporan penelitian terperinci, dan terlibat dalam dialog kebijakan, AEER berupaya untuk mengurangi dampak negatif dari pertambangan dan aktivitas industri lainnya. Organisasi ini juga menekankan pentingnya konservasi keanekaragaman hayati dan perlindungan ekosistem penting, dengan bekerja untuk memastikan bahwa pembangunan ekonomi tidak mengorbankan integritas lingkungan.

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga kegiatan telaah atau peer review terhadap laporan penelitian berjudul “Dampak Industri Baja terhadap Kesehatan Masyarakat dan Kondisi Sosial” dapat diselesaikan dengan baik. Telaah ini disusun sebagai bagian dari upaya untuk memastikan kualitas ilmiah, ketepatan metodologi, serta relevansi hasil penelitian terhadap isu kesehatan masyarakat dan sosial yang muncul akibat aktivitas industri baja. Melalui proses review ini diharapkan dapat diidentifikasi berbagai kekuatan, kelemahan, serta peluang perbaikan yang dapat memperkuat validitas dan kredibilitas hasil penelitian, sehingga hasilnya dapat berkontribusi secara nyata dalam pengambilan kebijakan maupun pengembangan ilmu pengetahuan di bidang kesehatan lingkungan dan sosial. Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendukung proses telaah ini, baik melalui penyediaan dokumen, data pendukung, maupun diskusi yang konstruktif. Semoga hasil telaah ini dapat memberikan masukan yang bermanfaat bagi penyempurnaan penelitian dan publikasi ilmiah ke depannya.

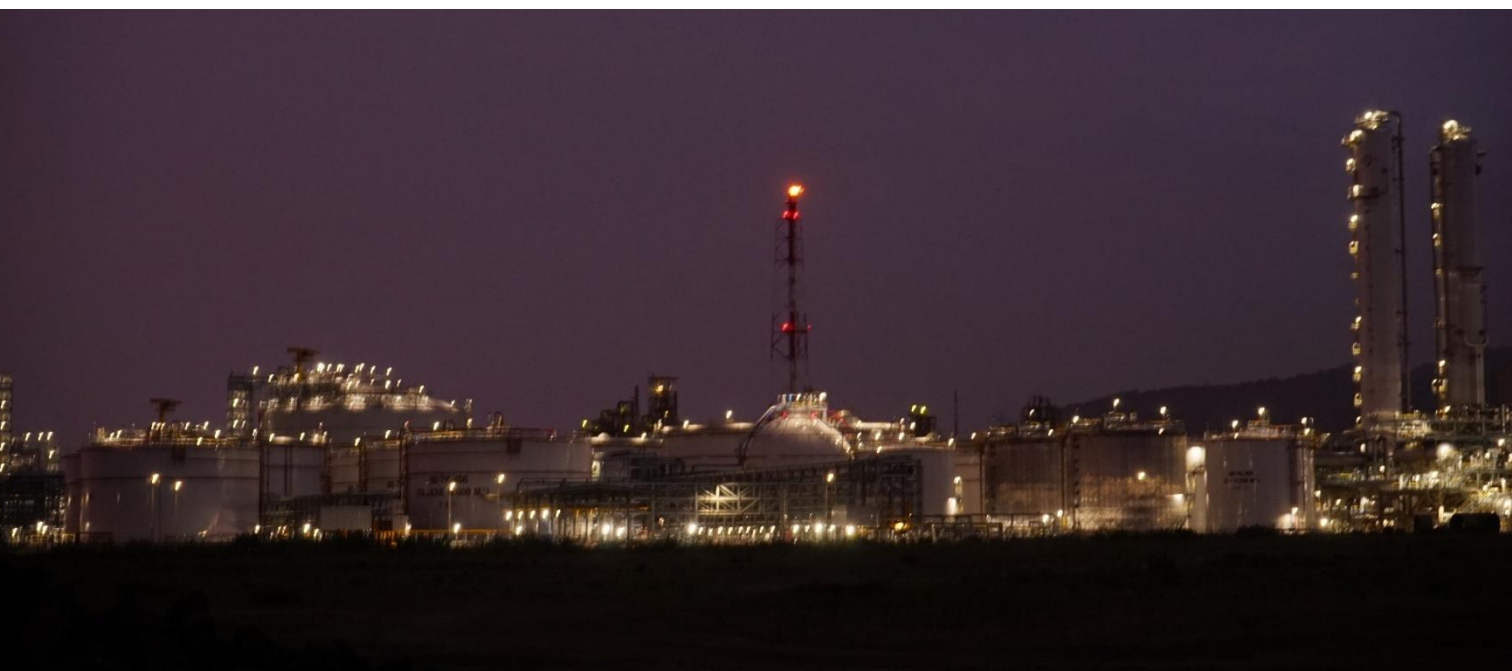
Hormat kami,

Tim Penelaah



Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Istilah.....	vii
Ringkasan Eksekutif	xi
I. Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
II. Metodologi Penelitian	7
2.1 Desain Penelitian	7
2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	8
2.3 Sampel Penelitian	9
2.4 Pengambilan Sampel	9
2.5 Kerangka Konsep Penelitian	10
III. Tinjauan Pustaka	13
3.1 Profil Kelurahan Tegal Ratu	13
3.2 Penyakit Akibat Polutan Industri Baja	16
3.3 Profil Industri Baja secara Umum	18
3.4 Ringkasan Pelaku Usaha dan Pasar Baja Global	30
3.5 Profil Emisi Karbon 1 dan 2	33
3.6 Profil Krakatau Posco	36
3.7 Narasi Pertumbuhan Produksi 6 Juta Ton <i>Slab</i> Baja/Tahun dan Emisi Nasional	42
3.8 Ekspor Krakatau Posco	44
3.9 Dorongan Produksi Baja Hijau & Potensi Konsumen di Tingkat Nasional & Global	45
3.10 Realisasi Komitmen Iklim Indonesia melalui Dekarbonisasi Industri	49

IV. Hasil dan Pembahasan	51
4.1 Analisis Hasil Perhitungan Karbon dan Bahaya Iklim	51
4.1.1 Perhitungan lingkup emisi GRK	51
4.2 Analisis Hasil Kuesioner	54
4.2.1 Kesehatan Warga	60
4.2.2 Dampak Lingkungan	64
4.2.3 Kasus ISPA	70
4.2.4 Dampak Sosial-Ekonomi	79
4.3 Analisis Polutan Berbahaya	82
4.3.1 Merkuri (Hg)	83
4.3.2 Kadmium (Cd)	84
4.3.3 Debu Silika	85
4.3.4 PM2,5	87
4.4 Urgensi Perubahan Proses Industri Baja Rendah Karbon & Ramah Lingkungan	88
4.5 Perbandingan Baku Mutu Udara Ambien Korea Selatan vs Indonesia	90
V. Rekomendasi	93
VI. Kesimpulan	97
VII. Daftar Pustaka	99



AMDAL
(Analisis Mengenai
Dampak Lingkungan Hidup)

Kajian mendalam untuk mengevaluasi dampak penting suatu rencana usaha atau kegiatan terhadap lingkungan hidup.

Baku mutu

Standar atau batas maksimum yang ditetapkan oleh peraturan untuk mengukur kualitas lingkungan.

BF-BOF

Rangkaian proses pembuatan baja menggunakan *Blast furnace* (BF) / tanur tinggi) dan Basic Oxygen Furnace (BOF).

CBAM
(Carbon Border
Adjustment Mechanism)

Mekanisme penyesuaian karbon oleh Uni Eropa untuk memasukkan harga karbon pada barang impor seperti baja, alumunium, pupuk.

CEMS
(Continuous Emission
Monitoring System)

Sistem pemantauan emisi secara terus-menerus dari cerobong industri (stack).

CO₂eq

Satuan yang menyetarakan berbagai gas rumah kaca ke dalam dampak setara CO₂.

Coke Oven Plant

Fasilitas industri yang memproduksi kokas dari batubara melalui proses pemanasan suhu tinggi tanpa oksigen.

CRC
(Cold Rolled Coil)

Produk baja lembaran yang diproses dengan pengerolan dingin.

CRM
(Cold Rolling Mill)

Fasilitas pengerolan baja pada temperatur rendah (di bawah rekristalisasi), menghasilkan baja lembaran dengan ketebalan presisi tinggi, permukaan halus, dan kekuatan lebih tinggi.

Dekarbonisasi

Upaya mengurangi emisi karbon dari proses industri, energi, dan aktivitas manusia.

DRI
(Direct Reduce Iron)

Proses bijih besi direduksi secara langsung menggunakan gas alam atau hidrogen, sehingga menghasilkan besi spons.

EAF (<i>Electric Arc Furnace</i>)	Tanur busur listrik untuk memproduksi baja (umumnya dari skrap).
Emisi	Pelepasan zat kimiawi, gas, atau partikel ke lingkungan bisa secara alami maupun karena aktivitas manusia.
Emisi fugitif	Emisi yang lepas tidak terkontrol dari kebocoran, pergerakan material, atau area terbuka.
Fisher's Exact Test	Uji statistik yang digunakan untuk menguji hubungan antara dua variabel dalam tabel kontingensi, terutama ketika ukuran sampel kecil kurang dari 30 atau frekuensi harapan kurang dari 5.
Fluks	Bahan tambahan (misal batu kapur) untuk menghilangkan kotoran dalam proses metalurgi.
FPFA (<i>Foreign Pollution Free Act</i>)	Kebijakan AS yang mewajibkan pelacakan dan pembuktian rendah polusi pada barang impor.
GRK (<i>Gas Rumah Kaca</i>)	Gas-gas di atmosfer bumi yang menyebabkan pemanasan global (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, dll).
HRC (<i>Hot Rolled Coil</i>)	Baja lembaran yang diproduksi dengan pengerolan panas.
Hot Strip Mill / Hot Rolling Plant	Fasilitas pengerolan panas untuk mengubah <i>slab</i> menjadi gulungan baja lembaran (HRC) pada temperatur tinggi, cocok untuk produksi volume besar.
Ironmaking	Proses pembuatan besi dalam tahap awal produksi baja.
ISPA (<i>Infeksi Saluran Pernapasan Akut</i>)	Penyakit yang disebabkan oleh virus dan bakteri yang menyerang saluran pernapasan atas (hidung, tenggorokan) atau pernapasan bawah (paru-paru).
Karbon	Unsur kimia yang menjadi dasar emisi CO ₂ dan komponen penting dalam industri baja.
Kokas	Bahan bakar karbon padat dari batu bara untuk Blast Furnace.
Kuesioner	Metode pengumpulan data berupa serangkaian pertanyaan tertulis yang disusun secara sistematis untuk memperoleh informasi dari responden.

Multistage random sampling	Metode pengambilan sampel bertahap dengan pemilihan acak pada tiap tahap.
NZE (Net Zero Emission)	Kondisi ketika emisi yang dihasilkan sama dengan emisi yang diserap/diimbangi.
PDB (Produk Domestik Bruto)	Nilai total produksi barang/jasa suatu negara.
Plate	Produk baja lembaran tebal (plat) hasil <i>Rolling</i> dari <i>slab steel</i> .
PM2.5	Partikulat sangat halus berukuran $\leq 2,5$ mikrometer.
PM10	Partikulat halus berukuran ≤ 10 mikrometer.
PMA (Penanaman Modal Asing)	Investasi yang dilakukan oleh pihak atau perusahaan asing di dalam negeri. Dalam konteks industri, PMA biasanya merujuk pada perusahaan dengan kepemilikan modal luar negeri yang beroperasi di Indonesia, termasuk sektor manufaktur, pertambangan, baja, dan energi.
Responden	Orang yang diminta untuk memberikan tanggapan terhadap pertanyaan yang sudah disiapkan oleh peneliti, baik itu dalam bentuk kuesioner atau wawancara.
Shutdown Blast Furnace	Penghentian sementara operasional <i>Blast furnace</i> untuk pembersihan inti tungku.
Silikosis	Penyakit paru akibat paparan debu silika dalam jangka panjang.
Sintering	Proses pemadatan bijih halus (<i>fines</i>) menjadi aglomerat melalui pemanasan sebelum masuk ke <i>Blast Furnace</i> .
Slab Steel	Produk baja setengah jadi berbentuk balok lebar dan tebal, menjadi bahan baku pembuatan HRC, plate, dan produk lembaran lainnya.
SNDC (Second Nationally Determined Contributions)	Dokumen komitmen iklim dari negara untuk memperbarui upaya mitigasi (pengurangan emisi) dan adaptasi (peningkatan ketahanan) terhadap perubahan iklim, sesuai dengan tujuan Persetujuan Paris untuk membatasi pemanasan global.
Steelmaking	Proses pengolahan besi menjadi baja.

Steel slag

Limbah padat hasil dari proses pembuatan baja.

Udara ambien

Udara bebas di lingkungan luar ruangan yang akan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup lain dan lingkungan.

**Zona Penyangga
(Buffer)**

Area pemisah antara wilayah industri dan permukiman (atau fungsi lain yang sensitif) yang berfungsi mengurangi dampak lingkungan, seperti kebisingan, debu, polusi udara, atau risiko kecelakaan industri.



Industri baja merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca di Indonesia, dengan kontribusi signifikan terhadap total emisi nasional yang mencapai 1,36 miliar ton CO₂e pada tahun 2023, di mana sektor industri menyumbang 59,85 juta ton CO₂e. Teknologi dominan yang digunakan, yaitu Blast Furnace–Basic Oxygen Furnace (BF–BOF), menghasilkan intensitas emisi rata-rata 2,2 ton CO₂e per ton baja, jauh lebih tinggi dibandingkan teknologi alternatif Electric Arc Furnace (EAF) yang hanya sekitar 0,5 ton CO₂e per ton baja. Meskipun demikian, 75% industri baja nasional masih berbasis BF–BOF, dan rencana pengembangan industri hingga 2060 menunjukkan bahwa teknologi tinggi emisi ini akan tetap mendominasi hingga 75% kapasitas produksi. PT Krakatau Posco, sebagai pabrik baja terpadu berbasis BF–BOF terbesar di Indonesia, memproduksi hingga 6 juta ton slab baja per tahun dan mengoperasikan fasilitas besar seperti *Sinter Plant* berkapasitas 9,38 juta ton sinter/tahun, *Blast furnace* dengan kapasitas 8,26 juta ton hot metal/tahun, serta *Coke oven Plant* dengan produksi 2,64 juta ton kokas/tahun. Dengan ekspansi tahap II, kapasitas HRC mencapai 4,5 juta ton dan CRC sebesar 1,8 juta ton per tahun, memperkuat posisinya sebagai salah satu penyumbang emisi terbesar sektor manufaktur.

Di tengah ekspansi industri baja, Kelurahan Tegal Ratu, Kota Cilegon yang berada di radius terdekat kawasan industri mengalami beban pencemaran udara yang tinggi. Dengan jumlah penduduk 11.987 jiwa, wilayah ini menjadi salah satu kawasan dengan kasus ISPA tertinggi di Kota Cilegon. Data Puskesmas Ciwandan menunjukkan ISPA sebagai penyakit paling banyak diderita selama 2016–2024. Survei AEER terhadap 94 responden dengan lama tinggal lebih dari 10 tahun menunjukkan banyak warga mengalami batuk kronis, sesak napas, dan keluhan pernapasan lain yang berkorelasi dengan paparan polutan. Proses industri baja menghasilkan PM_{2.5} yang tercatat dalam pengukuran AMDAL melebihi baku mutu Korea Selatan pada beberapa titik pemantauan. Di negara lain, dampak serupa juga tercatat, misalnya Pennsylvania di mana 70% anak terpapar PM_{2.5} melebihi standar dan 22,5% didiagnosis asma, serta temuan global bahwa paparan PM menyebabkan peningkatan rawat inap kasus pneumonia dan bronkitis. Pada kasus silikosis, data Polandia menunjukkan 2.066 pekerja terkena penyakit ini selama 2000–2019, menunjukkan betapa tingginya risiko paparan industri terhadap kesehatan paru-paru.

Secara nasional, kebutuhan baja diproyeksikan meningkat drastis dari 16 juta ton pada 2023 menjadi 207 juta ton pada 2060, meningkat lebih dari 12 kali lipat. Jika tidak ada perubahan teknologi, emisi gas rumah kaca industri baja diperkirakan melonjak 11,7 kali lipat pada 2060, dan berpotensi menyumbang hingga 68,1% total emisi nasional. Dengan pangsa pasar KS Group sebesar 34–42% produksi baja nasional, peningkatan produksi Krakatau Posco akan berkontribusi besar terhadap lonjakan emisi tersebut. Sementara itu, pasar ekspor baja Indonesia menghadapi ancaman dari kebijakan CBAM Uni Eropa dan FPFA Amerika Serikat yang mengenakan beban karbon pada karbon-intensif steel imports. Krakatau Posco sendiri mengekspor ratusan ribu ton HRC dan *plate* ke Eropa dan Amerika setiap tahun, yang berarti produk BF–BOF beremisi tinggi berpotensi terkena tarif karbon yang menurunkan daya saing. Temuan penelitian AEER melalui analisis emisi, kajian AMDAL, serta survei lapangan menegaskan adanya hubungan antara aktivitas industri baja dengan penurunan kualitas udara dan tingginya penyakit pernapasan pada warga Tegal Ratu. Penelitian ini sekaligus memperlihatkan ketidaksiapan industri baja nasional untuk menghadapi era dekarbonisasi global. Transformasi teknologi melalui peralihan ke rute rendah emisi seperti DRI–EAF berbasis energi terbarukan, peningkatan kapasitas daur ulang scrap, penguatan regulasi kualitas udara, serta perlindungan kesehatan masyarakat menjadi kebutuhan mendesak bagi Indonesia agar tidak terjebak dalam jalur pembangunan beremisi tinggi yang merugikan warga maupun posisi ekonomi nasional dalam jangka panjang.



1.1 Latar Belakang

Krisis iklim saat ini menjadi salah satu tantangan terbesar bagi umat manusia. Aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Semakin tinggi akumulasi emisi GRK terutama karbon dioksida (CO₂), akan memperkuat efek rumah kaca yang menyebabkan kenaikan suhu global secara signifikan. Kenaikan suhu ini menimbulkan ancaman serius bagi ekosistem dan stabilitas sosial-ekonomi, mulai dari peningkatan frekuensi bencana alam, hingga risiko kesehatan akibat gelombang panas dan polusi udara.

Industri sebagai kontributor kunci emisi GRK nasional. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, total emisi GRK nasional mencapai 1,36 miliar ton CO₂e pada tahun 2023. Dari 34% emisi nasional diantaranya bersumber dari aktivitas industri, yang mencapai 59,85 juta ton CO₂e. Total 36% emisi industri tersebut berasal dari 9 sektor paling lahap energi, yaitu industri baja, semen, besi dan baja, kimia, pupuk, pulp dan kertas, tekstil, kaca dan keramik, makanan dan minuman, hingga otomotif. Industri pada satu sisi bergerak sebagai motor ekonomi nasional dengan 18,9% PDB nasional, 19,3 juta pekerja, dan Rp80,5 triliun penanaman modal asing (PMA) atau 52.3% nasional pada tahun 2022. Maka dari itu, proses mitigasi krisis iklim menjadi suatu tantangan, dan bisa juga menjadi peluang tidak hanya untuk industri namun secara nasional Indonesia (Kemenperin, 2025).

Industri baja bersifat intensif emisi namun di satu sisi juga intensif energi sehingga termasuk industri hard-to-abate. Produksi baja menyumbang 10% dari emisi gas rumah kaca global. (Worldsteel, 2025). Secara nasional, 75% industri baja nasional masih menggunakan teknologi *Blast furnace* - Blast Oxygen Furnace (BF-BOF) yang memiliki emisi tinggi, hingga 2,2 ton CO₂eq per ton baja. Teknologi ini masih bergantung pada bahan bakar fosil seperti batu bara kokas untuk pembakaran, sehingga menghasilkan emisi tinggi dan menimbulkan polusi udara di sekitarnya.

Teknologi lain, *Electric Arc Furnace* (EAF) yang berbasis listrik, menghasilkan emisi yang lebih rendah, mencapai 0,5 ton CO₂eq per ton baja. Namun, penggunaannya di Indonesia masih sangat rendah, hanya 25%. Sayangnya, rencana pengembangan masa depan berdasarkan *Global Steel Plant Tracker* (GSPT) menunjukkan bahwa teknologi BF-BOF akan terus mendominasi, dengan proyeksi menunjukkan bahwa teknologi ini akan menyumbang 75% dari kapasitas produksi baja negara. Hal ini akan memicu ketergantungan pada bahan bakar fosil yang menghambat proses transisi energi dan memperparah krisis iklim. Di sisi lain, warga yang tinggal di sekitar pabrik baja harus menanggung dampak negatifnya. Debu dan partikel halus yang dihasilkan tidak hanya mencemari udara, tetapi juga membahayakan kesehatan masyarakat.

Beberapa penyakit berisiko menimpa para pekerja maupun masyarakat yang tinggal di sekitar industri baja. Paparan dari polutan PM (PM_{2,5} dan PM₁₀), gas (SO₂, NO_x) dan debu dari industri baja bisa menyebabkan penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), bronkitis, Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) hingga penurunan fungsi paru. Di Pennsylvania Amerika Serikat melaporkan ada 70 % anak-anak terpapar PM_{2,5} yang melebihi baku mutu dari pabrik baja dekat sekolah mereka pada tahun 2014-2017. Selain itu, 22,5% dari anak-anak juga didiagnosis asma yang berhubungan signifikan dengan tingginya paparan polutan seperti NO_x, sulfur (S), dan debu silika (Smit, 2020). Studi lainnya di Utah Valley, Amerika Serikat menyebut adanya lonjakan pasien rawat inap untuk kasus pneumonia, bronkhitis, ISPA dan asma seiring dengan meningkatnya polutan PM₁₀ akibat pembukaan kembali pabrik baja (Pope. 1989).

Di Polandia, berdasarkan data Central Register of Occupational Diseases, ada 2.066 kasus silikosis menimpa para pekerja di bidang manufaktur, besi dan baja selama tahun 2000–2019. Silikosis menyumbang 12.8–21.2% dari semua kasus pneumokoniosis (penyakit paru-paru akibat terhirupnya debu berbahaya dalam jangka waktu lama, seperti debu batu bara dan silika) per tahunnya (Nowak-Pasternak J. et al, 2022). Penelitian Dales, et al (2013) menunjukkan 61 orang partisipan yang menghabiskan waktu di dekat pemukiman pabrik baja (berjarak 0,9 km) selama 8 jam per hari, selama 5 hari berturut-turut, mengalami penurunan fungsi paru-paru, kapasitas difusi, dan saturasi oksigen dibandingkan saat berada di lokasi yang lebih jauh (berjarak 4,5km).

Sementara itu di Indonesia, kasus penyakit pernapasan dan keluhan kesehatan lainnya sering dilaporkan oleh warga yang tinggal di kawasan industri di Kota Cilegon. Berdasarkan data BPS Kota Cilegon dari tahun 2016-2024, ISPA menjadi penyakit yang paling banyak diderita masyarakat Kota Cilegon. Fluktuasi emisi industri seperti lonjakan PM_{2,5} juga diketahui meningkatkan kunjungan/ rawat inap pernapasan (pneumonia, bronkitis) pada populasi dekat pabrik. Penelitian pernah dilakukan Rahmaningsih (2022) di Kelurahan Tegal Ratu dengan tesis berjudul 'Pajanan PM_{2.5} terhadap Gangguan Fungsi Paru pada Masyarakat yang tinggal di Permukiman sekitar Kawasan Industri Kecamatan Ciwandan Kota Cilegon Tahun 2022' dan jurnal berjudul 'Hubungan Pajanan PM_{2,5} terhadap Gangguan Fungsi Paru pada Orang Dewasa di Kecamatan Ciwandan, Kota Cilegon Tahun 2022'.

Hasil penelitian Rahmaningsih (2022) menyebutkan, adanya hubungan yang signifikan antara konsentrasi PM_{2,5} terhadap gangguan fungsi paru pada orang dewasa yang tinggal kawasan industri. Hasil penelitian ini juga ditemukan PM_{2,5} merupakan parameter pencemar udara yang sangat berpengaruh terhadap gangguan pernapasan dan paru-paru manusia. Partikulat dengan ukuran <2,5 mikrometer ini apabila terhirup bisa mengakibatkan terjadinya ISPA.

Di sinilah dekarbonisasi industri berperan penting. Dekarbonisasi industri bertujuan untuk menekan atau bahkan menghilangkan emisi karbon yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil dan aktivitas industri. Dekarbonisasi merupakan langkah penting untuk mengatasi perubahan iklim dan mencapai target emisi nol (*net zero emission*). Hal ini merupakan tantangan bagi bangsa Indonesia maupun perusahaan yang ada, karena selain rencana pertumbuhan ekonomi dan industrialisasi Indonesia, juga terdapat agenda mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi energi fosil dan menggunakan energi terbarukan. Narasi tentang baja hijau semakin populer secara global dan di Indonesia, namun hal ini belum diikuti oleh inisiatif konkret dan ramah lingkungan.

Maka dari itu perlu dilakukan perubahan strategis untuk industri di Indonesia, salah satunya dengan melakukan pendekatan raksasa industri. Industri baja besar seperti Krakatau Steel (KS) Group menguasai pasar di Indonesia ($\pm 40\%$ *market share*) dengan produksi baja dalam jumlah besar (3 juta ton baja/tahun). Selain menghasilkan emisi GRK yang besar, namun secara praktis juga menghasilkan pencemaran lingkungan di sekitarnya, termasuk berdampak terhadap kehidupan warga sekitar.



1.2 Rumusan Masalah

Aktivitas industri baja di kawasan Ciwandan, khususnya di sekitar Kelurahan Tegal Ratu, masih didominasi oleh penggunaan teknologi *Blast Furnace–Basic Oxygen Furnace* (BF/BOF) yang bersifat intensif energi dan menghasilkan emisi karbon serta polutan udara dalam jumlah tinggi. Emisi yang dihasilkan dari proses BF/BOF berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi polutan ambien seperti PM_{2,5}, debu silika serta logam berat (Hg dan Cd) di udara sekitar kawasan industri. Akumulasi polutan ini berdampak langsung terhadap penurunan kualitas udara di lingkungan pemukiman warga Kelurahan Tegal Ratu yang merupakan area terdekat dengan pusat aktivitas industri baja.

Kualitas udara yang menurun akibat paparan polusi industri juga menyebabkan tingginya risiko gangguan kesehatan masyarakat, terutama infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Hubungan antara intensitas emisi industri dan kondisi kesehatan masyarakat di Tegal Ratu mencerminkan adanya beban lingkungan yang ditanggung warga akibat aktivitas industri yang belum sepenuhnya menerapkan prinsip dekarbonisasi dan teknologi rendah emisi. Maka dari itu, penelitian dilakukan untuk menganalisis dampak industri baja terhadap kondisi sosial dan kesehatan masyarakat Kelurahan Tegal Ratu, Kecamatan Ciwandan.

Pertanyaan dan Hipotesis

1. Pertanyaan 1: Bagaimana industri baja Indonesia melakukan dekarbonisasi?
2. Pertanyaan 2: Apakah pembeda jenis dan kadar polutan udara dari industri baja yang menggunakan energi fosil secara langsung dan tidak?
3. Hipotesis 1: Teknologi yang tinggi emisi, seperti *blast furnace* menciptakan polusi, dan harus beralih ke energi terbarukan yang lebih rendah emisi dan rendah polusi.
4. Hipotesis 2: Aktivitas industri baja berpotensi menyebabkan pencemaran udara yang dapat berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat di sekitarnya.



1.3 Tujuan

1. Melakukan penelitian mengenai dampak pencemaran udara dari aktivitas industri baja terhadap kondisi sosial, lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitar
2. Melakukan penelitian investigasi yang mencakup emisi perusahaan industri (*carbon Scope 1 dan 2*).
3. Mendesak agar segera terbit peraturan tentang dekarbonisasi sektor industri baja di Indonesia.
4. Mengidentifikasi peraturan tentang pencemaran udara di industri baja.

Dengan kata lain, penelitian ini tidak hanya ingin mengetahui seberapa besar dampak industri baja terhadap udara, emisi gas rumah kaca, dan kesehatan warga, tetapi juga ingin memberikan dasar ilmiah untuk mengubah arah kebijakan industri baja ke arah yang lebih hijau dan berkeadilan lingkungan.





II. Metodologi Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Metodologi yang digunakan untuk penelitian AEER adalah analisis kualitatif menggunakan data primer dan data sekunder. Data primernya berupa kuesioner dengan sampel responden warga Kelurahan Tegal Ratu, wawancara langsung dengan warga dan video kehidupan sosial masyarakat serta potret lanskap lingkungan di sekitar kawasan industri Krakatau Posco. Pendekatannya dilakukan dengan cara melihat tren/pola dan hubungan sebab-akibat dari data primer dan sekunder.

Untuk kuesioner, metodologi yang dilakukan adalah desain studi *cross-sectional*. Desain studi ini digunakan untuk mengetahui gambaran mengenai masalah yang terjadi pada suatu populasi. Pada desain studi *cross-sectional* dilakukan pengukuran satu kali terhadap seluruh variabel secara bersamaan. Sementara hubungan antara variabel dalam data kuesioner kemudian dianalisis melalui metode statistika dengan uji *Fisher's Exact Test* dan Model regresi logistik biner.

Hasil data kuesioner ini kemudian dihubungkan dengan data sekunder berupa AMDAL RKL - RPL PT Krakatau Posco yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), data ISPA Kelurahan Tegal Ratu dari Puskesmas Ciwandan, dan demografi penduduk Kelurahan Tegal Ratu dan Kecamatan Ciwandan serta daftar penyakit terbanyak di Kecamatan Ciwandan dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Cilegon.

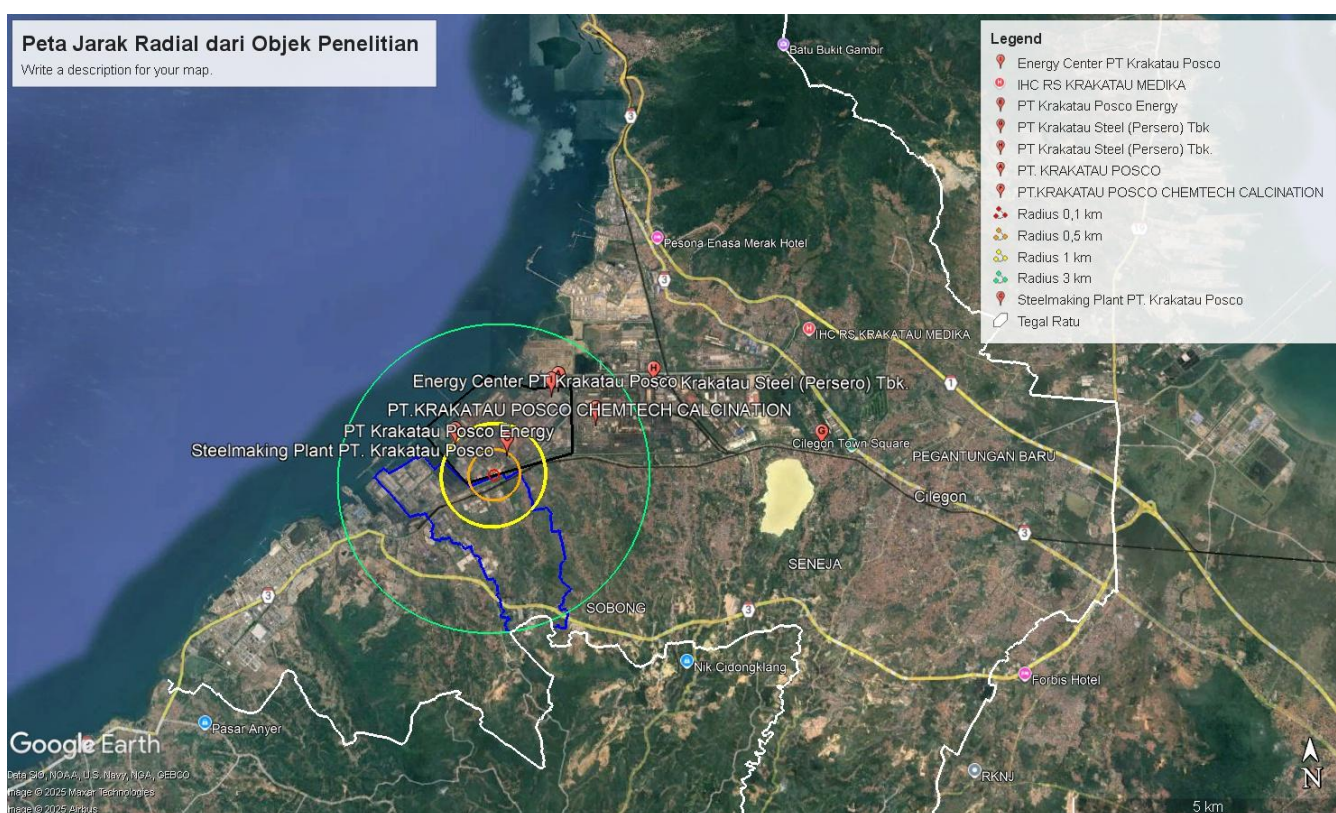
Data AMDAL PT Krakatau Posco 2025 diperoleh tim riset AEER setelah 2 bulan berkirim surat kepada Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). Sebelum menerima dokumen AMDAL tersebut, tim riset AEER juga pernah berkirim surat lewat surel dan mengunjungi langsung kantor Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Banten dan DLH Kota Cilegon pada Agustus 2025, namun tidak mendapat tindak lanjut oleh pihak DLH.

Sementara untuk wawancara, dipilih 3 orang informan yang merupakan Ketua RT, RW dan Ketua Lembaga Pemberdayaan Masyarakat (LPM) dari Kelurahan Tegal Ratu yang menjadi orang kepercayaan dan perwakilan warga untuk berkomunikasi menyampaikan keluhan-keluhan warga kepada PT Krakatau Posco. Akan tetapi, pendekatan kuantitatif seperti pengukuran udara ambien dan pengambilan sampel kesehatan responden seperti tes darah tidak dilakukan karena adanya keterbatasan waktu dan pertimbangan dari segi biaya.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini yaitu industri baja PT Krakatau Posco dan masyarakat Kelurahan Tegal Ratu Kecamatan Ciwandan Kota Cilegon Provinsi Banten. Namun penelitian AEER ini tidak disertai dengan wilayah pembanding yang lokasinya jauh dan tidak terpapar pencemaran udara dari industri baja, karena adanya keterbatasan waktu.

Alasan pemilihan PT Krakatau Posco sebagai lokasi penelitian AEER, karena Krakatau Posco yang merupakan bagian dari KS Group memiliki *blast furnace* pertama di Indonesia, walaupun merupakan penanaman modal asing (PMA) tetapi ada campur PTKS sebagai BUMN (di bawah pemerintah Indonesia) dengan jumlah kepemilikan masing-masing 50%.



Gambar 1. Peta Jarak Radial dari Titik Terluar PT Krakatau Posco

(Sumber: diolah di Google Earth, 2025)

Sementara itu, Kelurahan Tegal Ratu juga dipilih sebagai lokasi riset karena merupakan daerah pantauan AMDAL PT Krakatau Posco, serta daerah terdekat dari kawasan industri dan kemungkinan mendapat paparan tinggi dari polutan pabrik.

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus-September 2025.

2.3 Sampel Penelitian

Sampel penelitian yang menjadi responden kuesioner adalah orang dewasa yang menetap di sekitar kawasan industri Kelurahan Tegal Ratu, Kecamatan Ciwandan, Kota Cilegon. Karakteristik responden yang dianalisis meliputi status warga lokal berusia 20-70 tahun, perempuan dan laki-laki, telah tinggal dan menetap lebih dari 10 tahun di Kelurahan Tegal Ratu dan bersedia menjadi responden.

Jumlah responden yang ditargetkan untuk pengisian kuesioner adalah 100 orang. Sedikitnya jumlah responden ini disebabkan karena adanya keterbatasan waktu. Dari jumlah sampel ini dapat menggambarkan variabel-variabel yang diukur secara deskriptif. Penentuan jumlah sampel dalam kuesioner ini didasarkan pada rumus Slovin dengan mengambil *margin of error* 10%.

$$\begin{aligned} n &= \frac{N}{1 + Ne^2} \\ &= \frac{11.987}{1 + 11.987 (0,1)^2} \\ &= 99,17 \approx 100 \text{ responden} \end{aligned}$$

Keterangan:

n = jumlah sampel

N = jumlah populasi Kelurahan Tegal Ratu tahun 2024

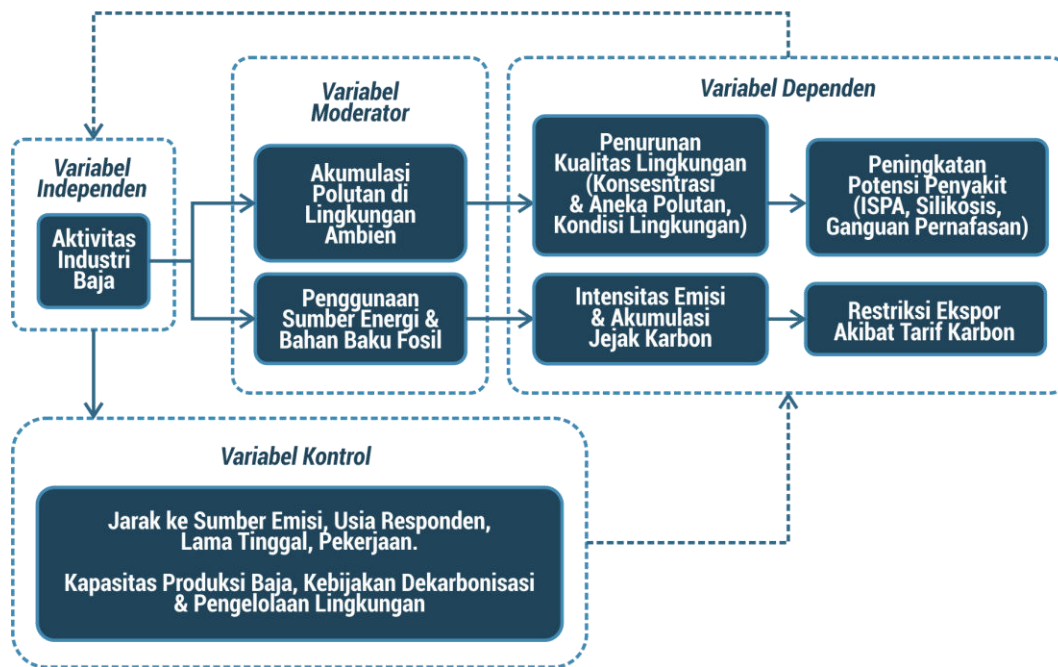
E = *margin of error*

2.4 Pengambilan Sampel

Kelurahan Tegal Ratu memiliki 7 RW dan 22 RT. Untuk pemilihan responden dilakukan dengan menggunakan *multistage random sampling*. Pada tahap pertama, populasi dikelompokkan berdasarkan RW dan RT di Kelurahan Tegal Ratu yang secara keseluruhan memiliki 22 RT dan 7 RW. Selanjutnya, responden di masing-masing RT yang bersedia dan sukarela untuk mengisi kuesioner harus melakukan konfirmasi ke Ketua RW, yang menjadi penghubung dengan tim AEER.

Tidak ada batasan jumlah responden per RT. Para responden yang sudah konfirmasi hadir diharuskan menghadiri forum diskusi sekaligus mengisi kuesioner di aula Koperasi KTKBM Tegal Ratu Cilegon.

2.5 Kerangka Konsep Penelitian



Gambar 2. Kerangka Konsep Polusi-Emisi dari Industri Baja

(Sumber: AEER, 2025)

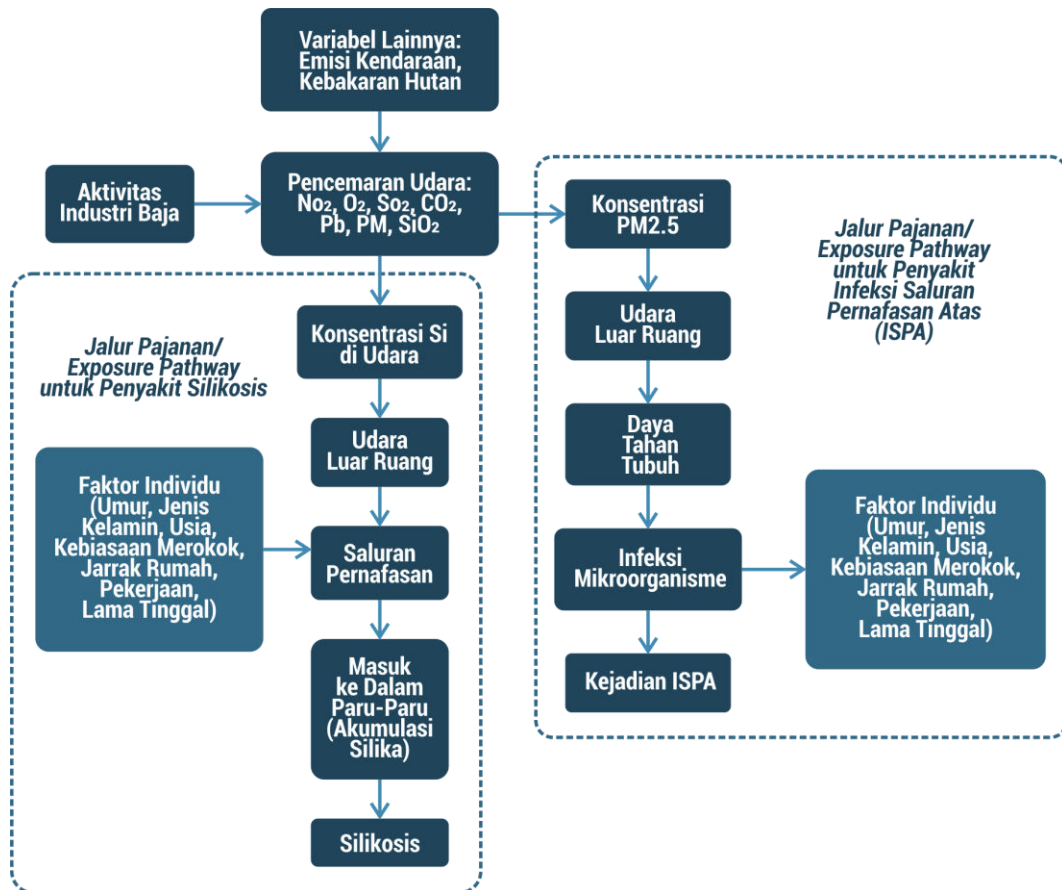
Dalam penelitian mengenai dekarbonisasi industri baja, variabel kontrol berperan penting untuk memastikan hubungan antarvariabel utama tidak dipengaruhi oleh faktor luar.

Pada aspek lingkungan, variabel kontrol meliputi jarak permukiman dari sumber emisi, pekerjaan, usia responden dan lama tinggal di sekitar kawasan industri. Faktor-faktor ini menentukan tingkat paparan dan kerentanan individu terhadap polusi udara. Sementara itu pada aspek industri baja, variabel kontrol mencakup kapasitas produksi baja, kebijakan dekarbonisasi dan pengelolaan lingkungan.

Dari segi variabel moderator meliputi akumulasi polutan di lingkungan yang akan memengaruhi penurunan kualitas lingkungan sehingga bisa berdampak pada kesehatan dan potensi penyakit pada warga di sekitar kawasan industri. Selain itu, penggunaan sumber energi dan bahan baku fosil juga akan memengaruhi intensitas emisi dan jejak karbon, sehingga bisa menyebabkan adanya restriksi ekspor akibat tarif karbon.

Dengan mengendalikan ketiga kelompok variabel tersebut, analisis penelitian dapat lebih obyektif dan menggambarkan secara lebih tepat hubungan antara aktivitas industri baja, proses dekarbonisasi, serta dampaknya terhadap masyarakat dan lingkungan.

Selain konsep penelitian juga dibuat kerangka penelitian untuk penyakit seperti ISPA dan Silikosis yang menjadi sorotan utama. Kerangka ini dibuat untuk menentukan determinan dari sumber/sebab dan dampak yang terjadi secara spesifik.



Gambar 3. Jalur Paparan untuk Penyakit Sorotan (Silikosis dan ISPA) secara umum dengan Korelasi Aktivitas Industri Baja

(Sumber: AEER, 2025)

Metode pengukuran faktor individu dilakukan melalui kuesioner. Pencemaran udara diukur dari pengambilan data Amdal PT Krakatau Posco untuk lokasi pengukuran di sekitar aktivitas kawasan industri. Pengukuran jumlah ISPA secara cross-sectional dilakukan di dalam kuesioner. Namun, tidak dilakukan pengukuran pada variabel lainnya serta perhitungan jumlah responden yang mengalami penyakit silikosis.

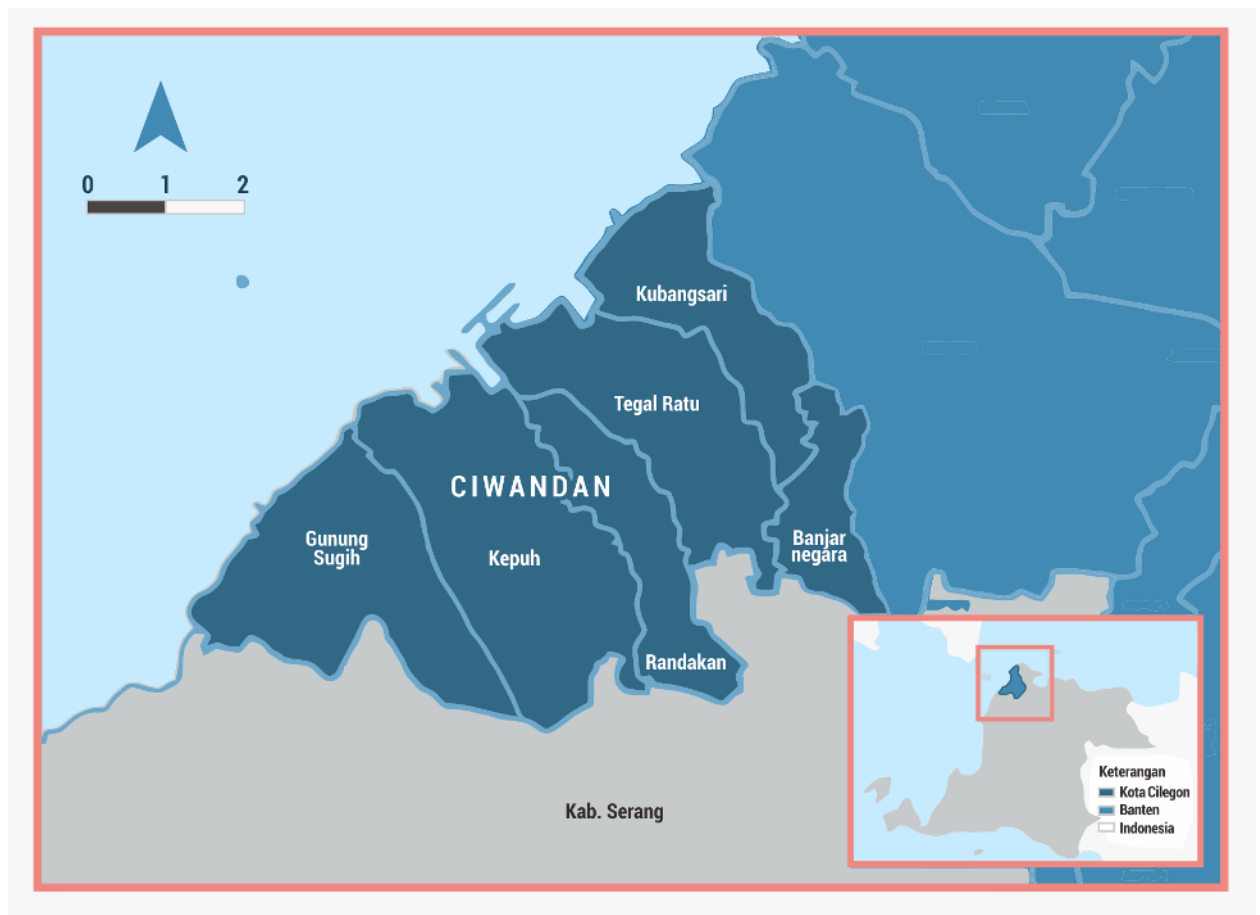
Aktivitas industri baja dapat menjadi sumber utama pencemar udara yang berkontribusi terhadap timbulnya penyakit ISPA dan silikosis di lingkungan sekitar. Dalam *pathway* penyakit, proses industri seperti peleburan, pemotongan logam, dan pengolahan bahan baku menghasilkan debu partikulat, gas buang, serta partikulat silika bebas (SiO_2) yang terlepas ke udara ambien. Polutan ini kemudian menyebar melalui angin dan mencemari udara di area pemukiman sekitar. Warga yang tinggal di sekitar industri baja terpapar melalui inhalasi (pernapasan) sebagai jalur utama dalam *pathway* pajanan kedua penyakit tersebut. Pada konsentrasi tinggi dan paparan jangka pendek, partikel halus dan gas pencemar menyebabkan iritasi serta infeksi saluran pernapasan (ISPA), terutama pada anak-anak dan lansia yang memiliki daya tahan tubuh rendah. Sementara itu, paparan debu silika dalam jangka panjang menyebabkan akumulasi partikel di paru-paru, memicu peradangan kronis dan pembentukan jaringan parut yang berujung pada silikosis. Dengan demikian, aktivitas industri baja menjadi titik awal jalur pajanan yang sama, tetapi menghasilkan dua dampak kesehatan berbeda tergantung pada jenis polutan, lama paparan, dan kerentanan individu.



III. Tinjauan Pustaka

3.1 Profil Kelurahan Tegal Ratu

Kelurahan Tegal Ratu merupakan salah satu dari 6 Kelurahan yang ada di Kecamatan Ciwandan, Kota Cilegon, Banten. Letak astronomis Kelurahan Tegal Ratu adalah 6°01'22.0" LS (Lintang Selatan), 105°58'29.6" BT (Bujur Timur).



Gambar 4. Peta Wilayah Kelurahan Tegal Ratu

(Sumber: BPS Kota Cilegon, 2025)

Luas wilayah Kelurahan Tegal Ratu adalah 5,73 km², dengan jumlah penduduk mencapai 11.987 jiwa pada tahun 2024, dengan 6.113 laki-laki dan 5.854 perempuan. Jumlah ini menjadikan Kelurahan Tegal Ratu dengan jumlah penduduk terpadat di Kecamatan Ciwandan. Kelurahan Tegal Ratu memiliki 22 RT dan 7 RW.

Tabel 1. Demografi Kecamatan Ciwandan Tahun 2024

Kelurahan	Penduduk		
	Laki-laki	Perempuan	Jumlah Total
Gunung Sugih	3.475	3.265	6.740
Kepuh	4.757	4.569	9.326
Randakari	5.037	4.808	9.845
Tegal Ratu	6.133	5.854	11.987
Banjarnegara	4.271	4.204	8.457
Kubangsari	4.219	4.014	8.233
Kecamatan Ciwandan	27.892	26.714	54.606

(Sumber: BPS Kota Cilegon, 2025)

Batas Kelurahan Tegal Ratu di sebelah utara berbatasan dengan Selat Sunda, sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Serang, sebelah barat berbatasan dengan Kelurahan Randakari dan sebelah timur berbatasan dengan Kelurahan Kubangsari.

Sebagian besar di sekitar wilayah Kecamatan Ciwandan didominasi oleh sektor perindustrian, terdapat 41 industri besar dan 43 industri kecil. Kelurahan Tegal Ratu sering disebut sebagai ring 1 kawasan industri, karena lokasinya berdekatan dan berbatasan dengan industri-industri besar yang ada di Kota Cilegon.



Beberapa industri yang berbatasan langsung dan berdekatan dengan Kelurahan ini di antaranya ada PT Krakatau Steel yang merupakan industri baja terbesar di Indonesia, PT Krakatau Posco, PT Krakatau Semen Indonesia dan PT Krakatau Bandar Samudera (KBS) anak perusahaan Krakatau Steel, PT Linde Indonesia, PT Permata Dunia Sukses Utama - *Power Plant*, hingga pabrik tepung PT Pundi Kencana dan PT Cerestar Flour Mills.

3.2 Penyakit Akibat Polutan Industri Baja

Aktivitas industri baja menghasilkan berbagai jenis polutan udara yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia, termasuk partikulat halus (PM_{2,5}), debu silika, serta logam berat seperti kadmium (Cd) dan merkuri (Hg). Paparan jangka pendek dari polutan-polutan tersebut dapat menimbulkan penyakit akut, sedangkan untuk jangka panjang dapat menimbulkan penyakit kronis.

Penyakit akut terjadi akibat paparan tinggi secara cepat dan tiba-tiba, gejalanya timbul cepat dan jelas, biasanya dalam waktu singkat (beberapa jam hingga beberapa minggu), dan apabila tertangani dengan baik akan sembuh total. Beberapa contoh diantaranya penyakit ISPA (Infeksi Saluran Pernapasan Akut) akibat paparan PM_{2,5} dan debu industri, bronkhitis akut karena iritasi saluran napas oleh gas SO₂ atau NO₂, keracunan akut logam berat (Hg, Cd) akibat inhalasi konsentrasi tinggi.

Sementara itu, penyakit kronis biasanya diawali dengan paparan rendah, gejalanya akan berkembang bertahap dan sering tidak disadari hingga lebih dari 3 bulan. Namun apabila paparan itu terus menerus terakumulasi dalam jangka panjang, dapat menyebabkan penyakit kronis yang menahun hingga adanya kerusakan permanen pada tubuh. Contohnya adalah penyakit silikosis akibat paparan debu silika, Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) akibat paparan PM_{2,5}, hingga gagal ginjal akibat paparan kadmium dan merkuri.

Tabel 2. Daftar Polutan Udara, Sumber dari Industri Baja dan Dampak Penyakit

Polutan Berbahaya	Sumber dari Industri Baja	Penyakit yang Ditimbulkan
PM2,5	Emisi dari pembakaran kokas, proses sintering, blast furnace/BOF, EAF (Electric Arc Furnace), proses penuangan dan finishing, serta fugitive dust dari penanganan material.	Jangka pendek: iritasi mata, hidung, sakit tenggorokan, batuk, bersin, pilek, sesak nafas, ISPA, asma. Jangka panjang bronkhitis kronis, penurunan fungsi paru-paru, kanker paru, penyakit jantung dan meningkatkan kematian (Cheng, et al. 2012).
Merkuri (Hg)	Emisi dari bahan bakar batu bara, bijih besi/kokas di proses sintering <i>Plant</i> dan proses peleburan logam berat	Gangguan saraf pusat, tremor, penurunan kognitif, dan kerusakan ginjal (Clarkson et al. 2003).
Kadmium (Cd)	Emisi dari pelapisan logam (galvanizing), slag, dan sinter <i>Plant</i>	Kerusakan ginjal kronis, osteoporosis, anemia, dan penyakit karsinogenik, kanker paru, kanker prostat (Godt, et al. 2006).
Debu Silika (SiO ₂)	Pemakaian batu bara/coal sebagai bahan baku dan bahan penolong seperti bijih besi, kokas, kuarsit, dan pasir silika dalam iron making	Silikosis, tuberkulosis sekunder, pneumokoniosis, kanker paru (Hoy et al. 2023)

Penyakit ISPA

Infeksi Saluran Pernapasan Akut atau ISPA adalah istilah klinis/epidemiologis untuk infeksi akut yang mengenai satu atau lebih bagian saluran napas—dari hidung dan tenggorokan sampai bronkus dan alveoli (termasuk sinus, telinga tengah, pleura). ISPA menjadi salah satu penyebab utama morbiditas dan mortalitas global, terutama pada balita dan lansia.

Di Indonesia, ISPA banyak menjangkiti anak-anak. Penyakit ISPA dibedakan berdasarkan 2 macam, ISPA ringan gejalanya meliputi pilek, sakit tenggorokan, batuk, demam ringan, sedangkan ISPA berat atau pneumonia gejalanya berupa demam tinggi, sesak napas hingga sianosis atau kulit membiru karena kurangnya oksigen dalam darah (Kemenkes, 2023).

Berdasarkan penyebabnya, ISPA bisa disebabkan oleh virus dan bakteri. Untuk virus biasanya rhinovirus, influenza, respiratory syncytial virus (RSV), human metapneumovirus, coronavirus (termasuk SARS-CoV-2), adenovirus—virus merupakan penyebab paling sering ISPA komunitas. Sementara bakteri *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* non-typable, *Mycoplasma pneumoniae*, berperan terutama pada pneumonia dan komplikasi sekundernya (Khales et al. 2025).

ISPA sangat rentan menjangkiti bayi dan anak-anak <5 tahun, lansia, penderita penyakit paru kronik (PPOK, asma), imunokompromais, malnutrisi dan ibu hamil. Berdasarkan determinan sosial dan lingkungan, ISPA rawan menulari orang yang tinggal di hunian padat, terpapar asap rokok dan polusi udara (termasuk PM_{2,5}) serta rendahnya sanitasi. Peningkatan polusi atau PM_{2,5} berkaitan kuat dengan peningkatan insiden dan keparahan ISPA.

Diagnosis awal ISPA biasanya dikenali melalui gejala-gejala yang muncul, sehingga bisa dilakukan tes oksigenasi yang menunjukkan saturasi O₂ menurun. Sementara untuk kasus berat atau yang memerlukan rawat inap harus melakukan radiografi dada, hitung sel darah, kultur sputum/np swab dan panel virus (PCR) bila tersedia. Penting menilai tanda bahaya (kesulitan bernapas, saturasi rendah) untuk keputusan rujukan/rawatan ([GBD, 2024](#)).

3.3 Profil Industri Baja secara Umum

Baja diproduksi dengan menambahkan paduan logam ke besi cair, bersama dengan sejumlah kecil karbon. Zat pengotor dihilangkan dan komposisi kimia campuran disesuaikan. Baja cair yang dihasilkan, yang juga disebut baja mentah (*crude steel*), dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran yang dibutuhkan untuk menjadi produk akhir (*finished product*).

Besi adalah bahan utama baja. Besi diperoleh melalui dua cara berbeda yaitu dengan mengubah bijih besi menjadi besi (juga disebut 'besi murni', 'besi berbasis bijih', atau 'besi logam'). Bijih besi (besi oksida) adalah bahan baku yang diekstraksi dari tambang. Proses mengubah bijih besi menjadi besi disebut pembuatan besi (*ironmaking*), dan saat ini sebagian besar dilakukan di tungku peleburan menggunakan batu bara (*blast furnace*) dengan 70% produksi dunia. Selain itu, terdapat cara mendaur ulang baja bekas (sisa produksi ditambah bahan daur ulang dari gedung pencakar langit tua, mobil, kapal, dan lain-lain). Namun volume besi bekas yang tersedia masih terbatas dan saat ini tidak cukup untuk memenuhi seluruh permintaan besi dan baja, meskipun volume ini diperkirakan akan meningkat. Saat ini, besi bekas mencakup sekitar 30% dari total penggunaan besi.

Secara ringkas, proses di industri baja terdiri dari *ironmaking* (pengolahan bijih besi > besi/baja primer) dan *steelmaking* (pengolahan besi menjadi baja). Energi dan emisi tertinggi terjadi pada *ironmaking* karena proses mereduksi bijih besi (hematit-Fe₂O₃ atau magnetit-Fe₃O₄) menjadi besi cair (Fe) membutuhkan reduktan karbon dalam jumlah besar sehingga intensif energi dan karbon, sedangkan *steelmaking* lebih rendah emisi karena hanya melakukan penyesuaian komposisi (kadar karbon, sulfur, fosfor, dan elemen lainnya) dan jauh lebih kecil konsumsinya dibandingkan proses *ironmaking* yang memutus ikatan oksigen dari bijih besi. Secara umum, terdapat beberapa rute yang biasa dipakai dalam *ironmaking* (riset AEER hanya melakukan analisis pada tahap *ironmaking* karena menjadi *hotspot* dekarbonisasi di industri baja nasional):

1. BF-BOF (*Blast furnace – Basic Oxygen Furnace*)

Rute ini adalah yang paling konvensional dan banyak digunakan di industri baja dunia. Bijih besi bersama kokas dimasukkan ke dalam *blast furnace* (tanur tinggi) untuk direduksi menjadi *hot metal* atau besi cair. Besi cair tersebut kemudian dialirkan ke *basic oxygen furnace* (BOF), di mana sebagian kecil scrap baja bisa ditambahkan untuk mengontrol temperatur. Di dalam BOF, besi cair dimurnikan dengan oksigen sehingga terbentuk baja cair dengan kualitas tinggi. Proses ini memiliki kapasitas produksi besar, namun kelemahannya adalah menghasilkan emisi karbon yang tinggi karena sangat bergantung pada kokas. Perusahaan Indonesia yang menggunakan rute ini adalah PT Krakatau Posco dan PT Dexin Steel Indonesia.

2. DRI-EAF (*Direct Reduced Iron – Electric Arc Furnace*)

Pada rute ini, bijih besi direduksi secara langsung menggunakan gas alam atau hidrogen, sehingga menghasilkan *Direct Reduced Iron* (DRI) atau *sponge iron*. DRI kemudian dilebur di *Electric Arc Furnace* (EAF), biasanya bersama dengan scrap baja. Proses ini lebih fleksibel, ramah lingkungan, dan dapat jauh lebih rendah emisi karbonnya, terutama bila sumber listrik untuk EAF berasal dari energi terbarukan dan reduksi menggunakan hidrogen hijau. Rute ini cocok untuk daerah yang memiliki pasokan gas alam melimpah atau sedang bertransisi menuju baja hijau. Perusahaan Indonesia yang menggunakan rute ini adalah PT Krakatau Steel dan PT Ispat Indo (pernah menggunakan).

3. DRI – BOF (*Direct Reduced Iron – Basic Oxygen Furnace*)

Rute ini jarang digunakan. DRI yang dihasilkan dari reduksi langsung dimasukkan ke dalam BOF sebagai pengganti sebagian hot metal dari blast furnace. Dengan cara ini, pabrik dapat mengurangi kebutuhan kokas dan bijih besi, sekaligus menekan biaya produksi bila pasokan DRI tersedia. Namun, karena BOF tetap digunakan, jejak karbon rute ini masih tergolong tinggi meskipun ada sedikit pengurangan emisi dibanding BF–BOF murni. Namun di Indonesia tidak terdapat perusahaan yang menggunakan rute ini.

4. BF – EAF (*Blast furnace – Electric Arc Furnace*)

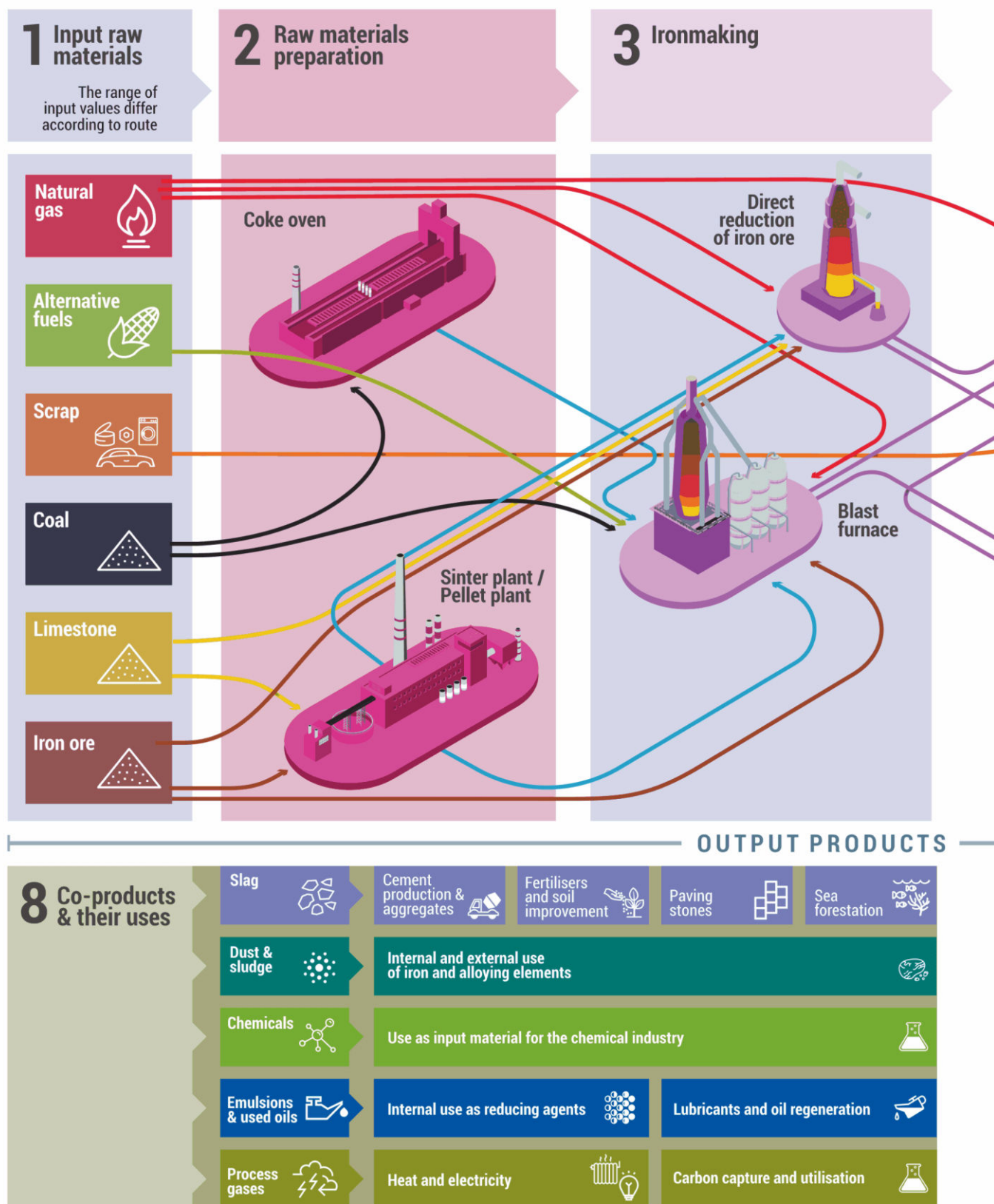
Dalam rute ini, besi cair (*hot metal*) dari *blast furnace* tidak dialirkan ke BOF, melainkan langsung ke EAF. Proses ini bisa meningkatkan fleksibilitas produksi karena EAF juga mampu melebur scrap dalam jumlah lebih besar dibanding BOF. Dengan demikian, pabrik dapat menyeimbangkan antara hot metal dan scrap sesuai ketersediaan bahan baku serta biaya energi. Rute ini dapat sedikit mengurangi emisi dibanding BF–BOF, namun tetap tidak sebersih DRI–EAF. Namun di Indonesia tidak terdapat perusahaan yang menggunakan rute ini.

5. Scrap – EAF (Besi Bekas/rongsok - *Electric Arc Furnace*)

Rute ini sepenuhnya berbasis daur ulang. Scrap baja dilebur langsung di EAF untuk menghasilkan baja cair baru. Ini adalah rute dengan emisi karbon terendah, apalagi bila listrik untuk EAF berasal dari energi terbarukan. Tantangan utamanya adalah ketersediaan scrap yang berkualitas tinggi dan cukup banyak, karena permintaan baja baru dunia terus meningkat dan tidak semuanya bisa dipenuhi dari scrap. Perusahaan yang menggunakan rute ini di Indonesia adalah PT. Gunung Raja Paksi (GRP), PT Ispat Indo, dan Jakarta Prima Steel.



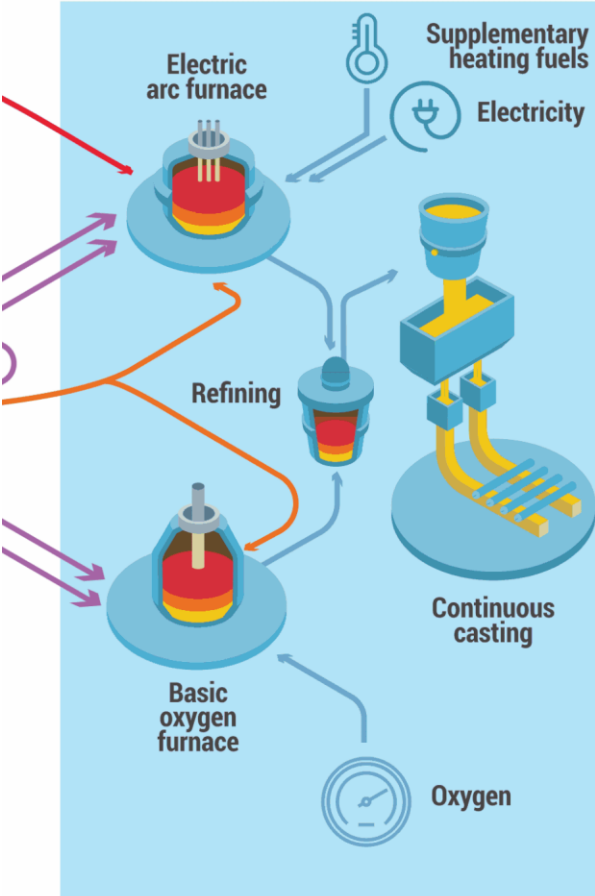




Gambar 6. Rute pembentukan besi-baja
(Sumber: Worldsteel, 2025)

4 Steelmaking

Two main routes



5 Semi-finished products

Blooms



Billets



Slabs



6 Hot-rolled products

Rails



Structural shapes



Welded / seamless tubes



Wire rods



Bars



Rebar



Coils



Plate



7 Finishing operations

Cold rolling



Metal coating



Painting



9 Steel



Wind turbines



Packaging



Motor vehicles



Bridges



White goods



Rail tracks and trains



Pipes



Buildings & factories



Ships and containers



Machinery



Metal products



Solar panels



Furniture

Ironmaking

Ironmaking atau pembuatan besi merupakan tahap awal yang sangat penting dalam rantai produksi baja, karena pada tahap ini bijih besi diubah menjadi besi kasar (*pig iron*) atau besi spons (*Direct Reduced Iron/DRI*) melalui proses reduksi. Secara umum terdapat tiga jalur utama dalam teknologi *ironmaking*, yaitu proses *Blast Furnace*, proses *Direct Reduction*, dan proses *Direct Reduction Smelting*. Masing-masing jalur memiliki prinsip kerja, kebutuhan bahan baku, efisiensi energi, serta tantangan operasional yang berbeda, sehingga pemilihan teknologi sangat bergantung pada ketersediaan sumber daya, kondisi energi, dan skala produksi di suatu wilayah. Tahapan ini yang pada dasarnya krusial untuk didekarbonisasi karena menghasilkan porsi emisi GRK dari keseluruhan proses (70%-80% dari total emisi proses).

Blast furnace merupakan teknologi paling mapan dan masih mendominasi produksi besi dunia. Dalam proses ini, bahan baku berupa bijih besi (dalam bentuk sinter, pellet, atau lump), kokas, dan fluks dimasukkan dari bagian atas tanur, sementara udara panas ditiup dari bagian bawah melalui tuyer. Di dalam tanur terjadi reaksi reduksi bertahap dengan gas CO yang terbentuk dari pembakaran kokas, sehingga bijih besi akhirnya tereduksi dan melebur menjadi besi cair. Produk utama dari proses ini adalah *pig iron*, sedangkan produk samping berupa slag dan gas tanur yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Meskipun efisiensinya tinggi, operasi *blast furnace* kerap menghadapi permasalahan seperti slip material, *scaffolding* pada dinding tanur, *channeling* gas, serta risiko *breakouts* pada bagian *hearth*, sehingga pemantauan kondisi internal dan desain refraktori yang handal menjadi isu penting dalam penelitian. Selain itu, terdapat proses *maintenance* yang menghasilkan kebisingan yang tinggi dan memekakkan telinga serta asap hitam dan debu yang tebal dan sampai ke rumah warga sekitar.

Alternatif dari *Blast furnace* adalah proses *Direct Reduction (DR)*, yaitu metode reduksi padat tanpa meleburkan bijih secara penuh. Proses ini menggunakan gas reduksi (CO dan H_2) yang berasal dari gas alam atau batubara untuk menghilangkan oksigen dari bijih besi pada temperatur lebih rendah. Produk yang dihasilkan berupa besi spons (DRI) atau dalam bentuk kompak *Hot Briquetted Iron (HBI)*. Teknologi *direct reduction* seperti MIDREX, HYL, dan *rotary kiln* menawarkan keuntungan berupa konsumsi energi yang relatif lebih rendah dan tidak memerlukan kokas mahal, namun memiliki keterbatasan karena membutuhkan bijih dengan kualitas relatif tinggi serta sistem kontrol distribusi gas yang presisi.

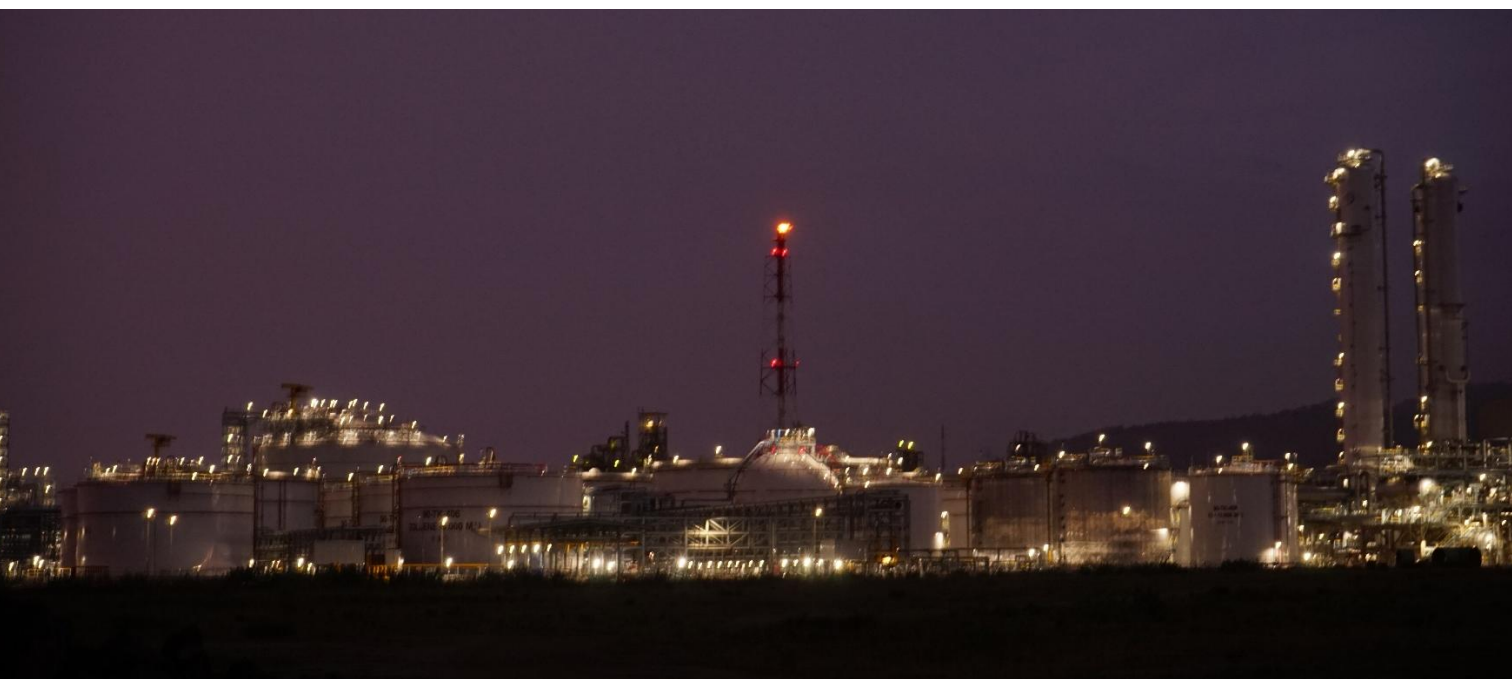
Sementara itu, proses *Direct Reduction Smelting* merupakan kombinasi antara reduksi dan peleburan yang dilakukan secara bersamaan. Teknologi seperti COREX, FINEX, dan HISMELT dirancang untuk mengatasi ketergantungan pada kokas sekaligus memungkinkan penggunaan bijih dengan kadar rendah. Proses ini menghasilkan besi cair langsung sekaligus gas samping yang dapat dimanfaatkan sebagai energi. Namun demikian, kompleksitas operasional, kebutuhan investasi yang besar, serta kendali termal yang sulit membuat proses ini belum sepopuler *blast furnace*, meskipun potensinya cukup besar untuk masa depan, terutama di daerah dengan pasokan kokas terbatas.

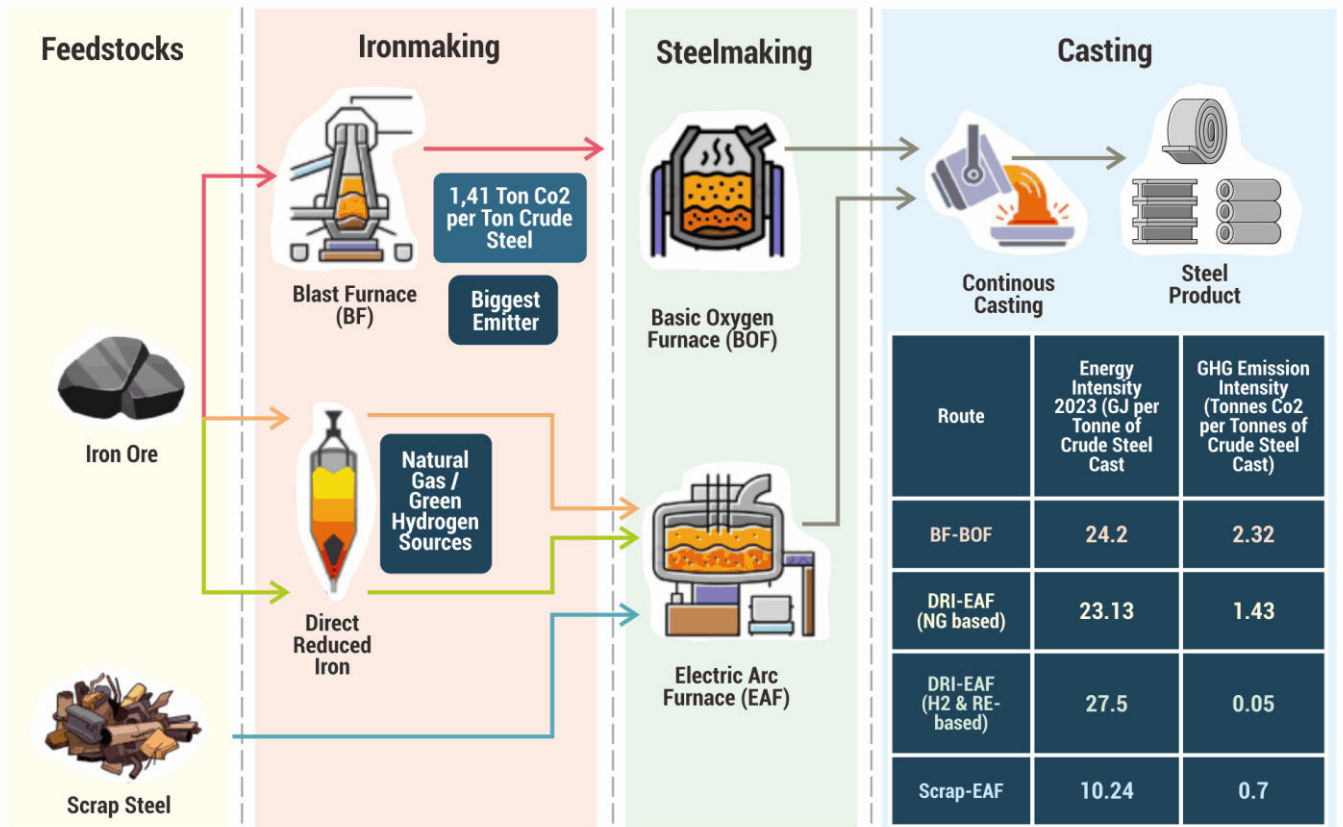
Dari ketiga jalur tersebut, dapat disimpulkan bahwa tiap teknologi memiliki kelebihan dan kekurangan. *Blast furnace* unggul untuk produksi skala besar dengan teknologi *mapan* dan massal/produksi besar, *direct reduction* lebih hemat energi dan fleksibel di wilayah dengan sumber gas murah, sementara *direct reduction smelting* menawarkan solusi untuk penggunaan bijih kadar rendah dan pengurangan emisi, meskipun menuntut kendali proses yang kompleks.

Tantangan riset ke depan mencakup peningkatan efisiensi energi serta penerapan reduktor rendah karbon seperti hidrogen untuk menekan emisi CO₂. Dengan demikian, perkembangan *ironmaking* di masa depan akan sangat dipengaruhi oleh kebutuhan industri baja global terhadap efisiensi energi, keberlanjutan lingkungan, serta pemanfaatan bahan baku yang semakin beragam.

Proses Pengolahan Baja (*Steelmaking*)

Pengolahan baja/*steelmaking* pada dasarnya terdapat beberapa rute yaitu EAF, BOF, dan proses lanjutannya yaitu *Continuous Casting* melalui pabrik akhir seperti *Cold Rolling mill (CRM)*, *Hot Strip Mill (HSM)*, *Bilster Center*, *Wire Rod and Bar Mill*, dan *mill* lainnya. Baja cair / *hot metal* dan *pig iron* dicetak untuk menjadi billet (lempengan, balok kosong, dan bloom) yang mudah digulung dan dibentuk. Proses penggulangan dilakukan sesuai dengan sifat produk akhir seperti kekuatan, fleksibilitas, dan sifat lainnya. Proses akhir adalah pelapisan/*coating* untuk melapis lembaran baja dengan ketahanan karat yang tinggi, proses lainnya juga ada galvanisasi, pelapisan pernis, pelapisan cat, dan pelapisan timah. Proses ini secara persentase hanya 11% dari total emisi proses pengolahan baja karena tidak membutuhkan energi sebesar tahap pengolahan besi (Worldsteel, 2025).



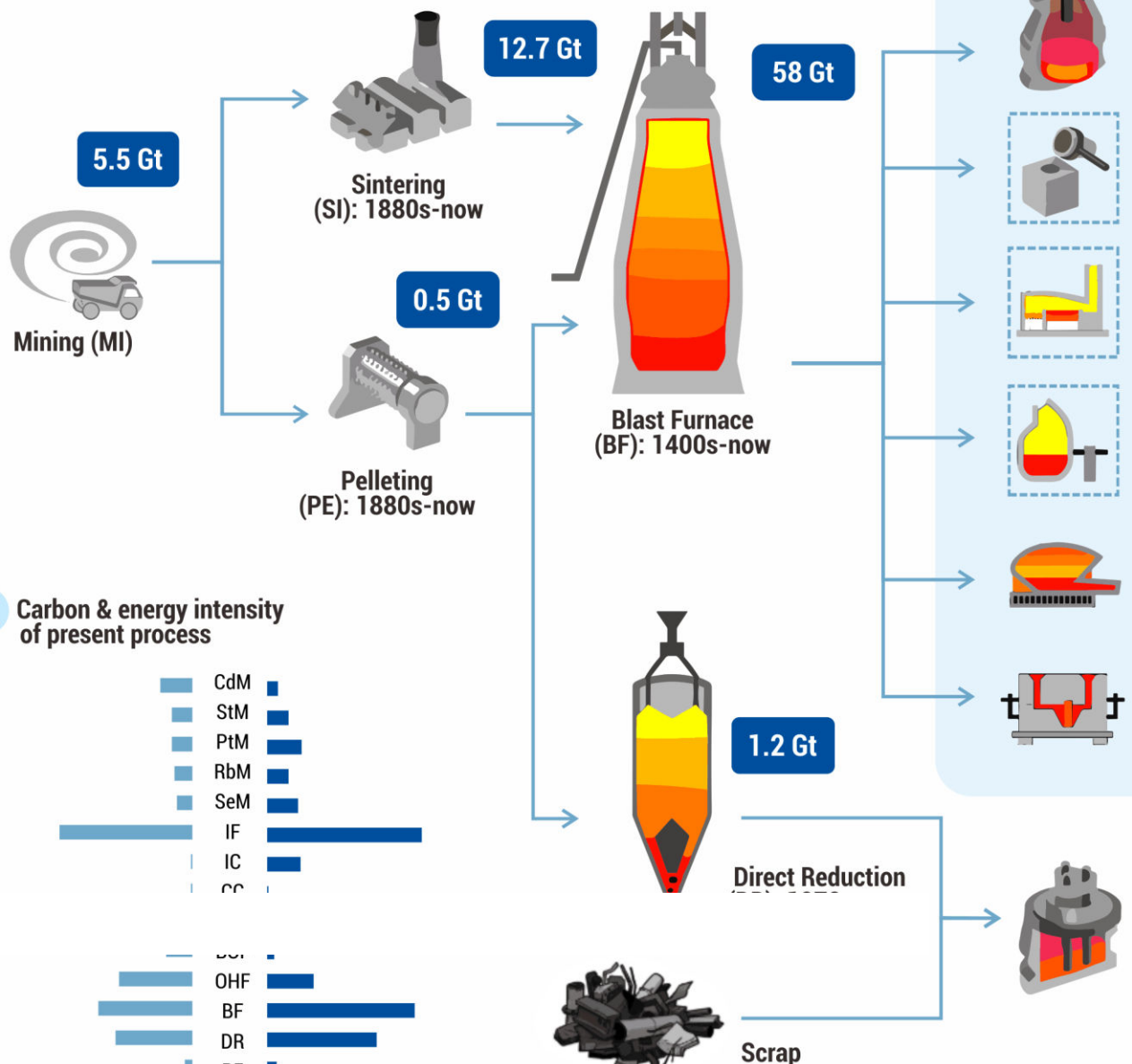


Gambar 7. Emisi GRK dan Intensitas Energi dari Tiap Rute Umum Pembentukan Baja
 Sumber: diolah dari [Worldsteel](#) (2025), [Agora Industry](#) (2021), [IEEFA](#) (2022), [Steelwatch](#) (2025)

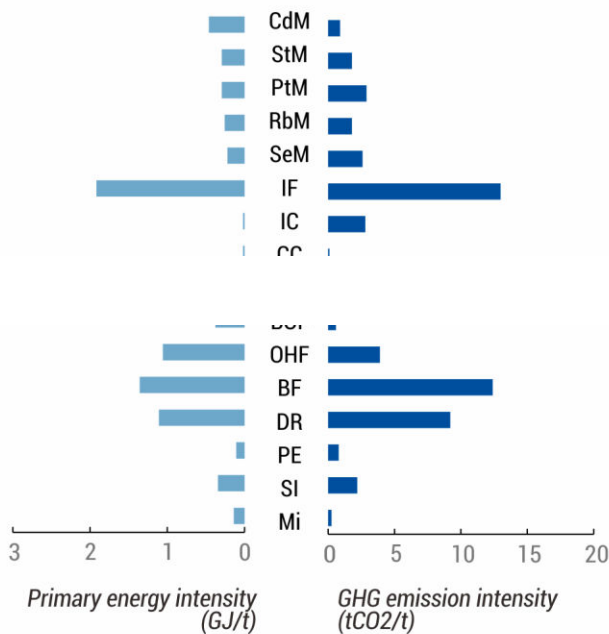
Pertumbuhan permintaan erat kaitannya dengan kemajuan nasional dan global dalam urbanisasi dan industrialisasi, karena baja merupakan logam paling fundamental bagi masyarakat modern. Akibatnya, peningkatan produksi yang paling tajam terjadi pada dekade-dekade (tahun 2000-an) terakhir akibat pertumbuhan permintaan yang cepat di ekonomi *emerging* seperti China dan India. Setidaknya, $\pm 45\%$ dari total emisi gas rumah kaca (GRK) industri baja global terjadi setelah tahun 1990. Teknologi dominan sebelumnya seperti *Puddling*, *Crucible*, *Bessemer*, *Open-hearth furnace*, dan *Ingot casting* pun dalam beberapa dekade hampir sepenuhnya digantikan oleh teknologi alternatif seperti BOF dan *continuous casting* (Wang et al, 2021).



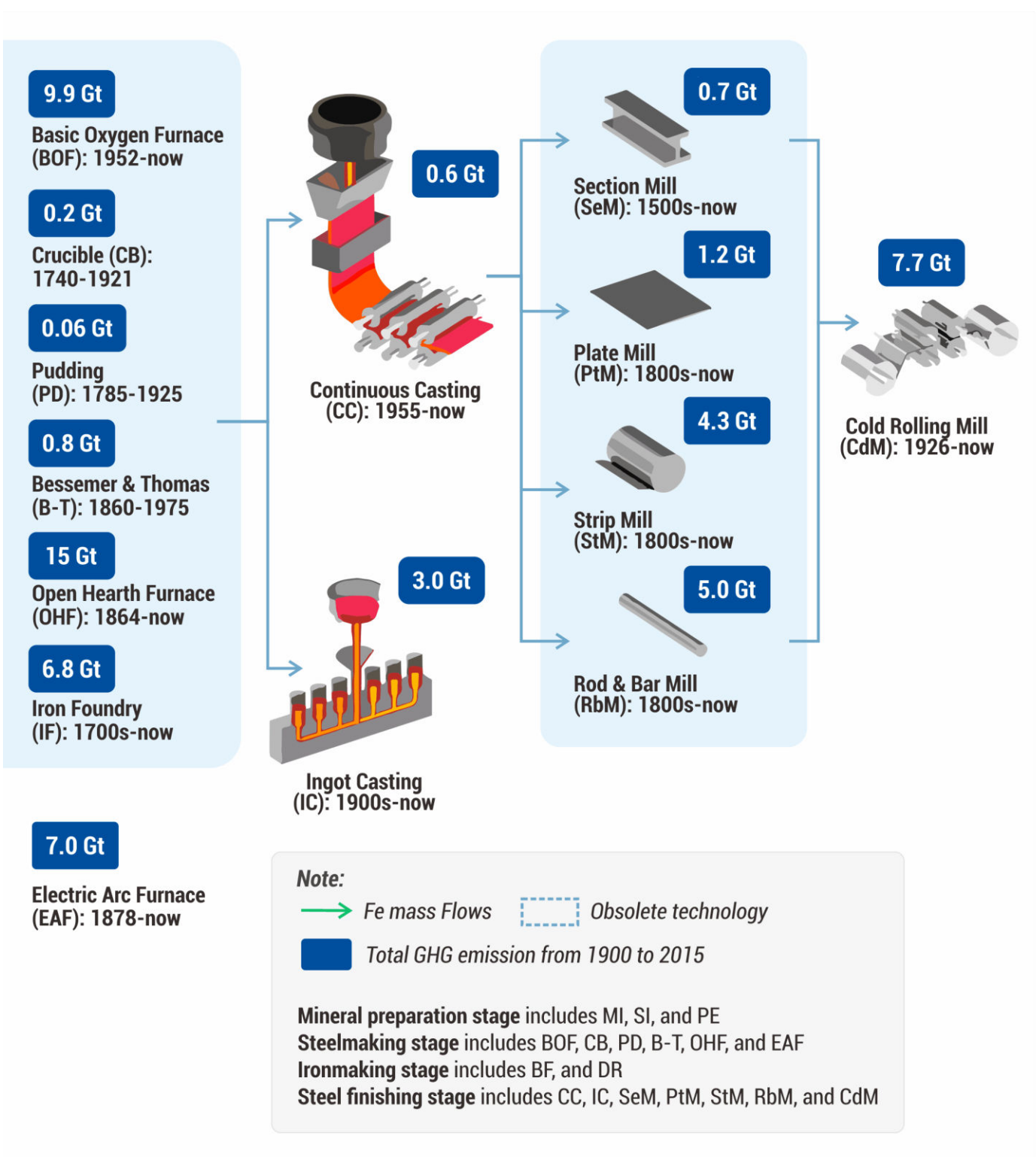
a. Total GHG emission from each process (1900-2015)



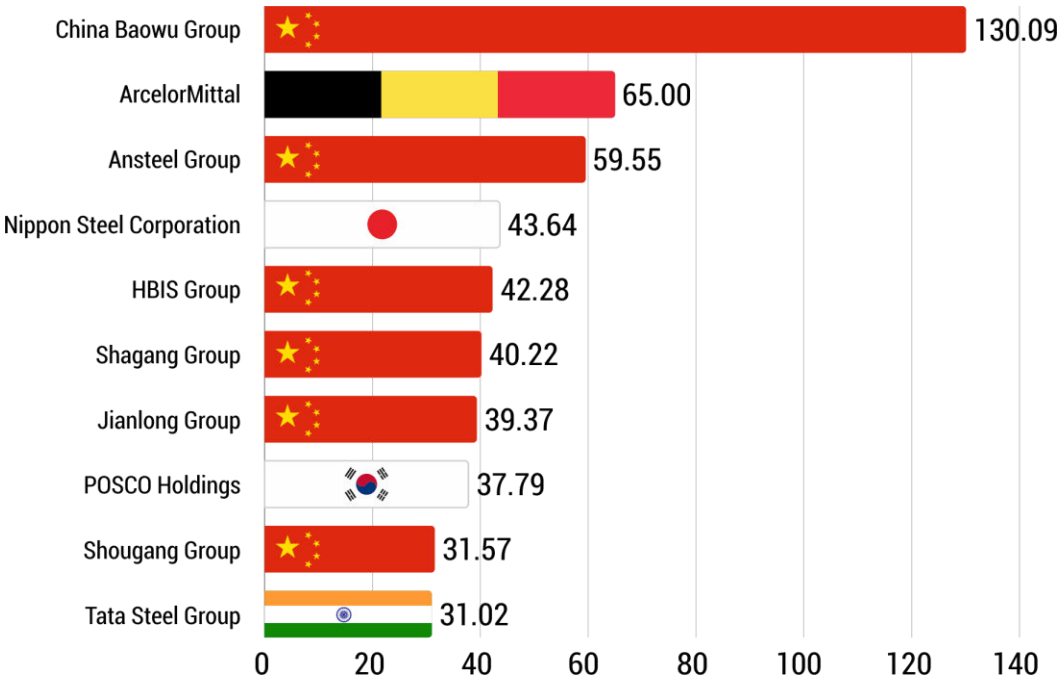
b. Carbon & energy intensity of present process



Gambar 8. Steel Production Technologies dan Total Emisi GHG Tahun 1900-2015
(Sumber: Wang et al, 2021)

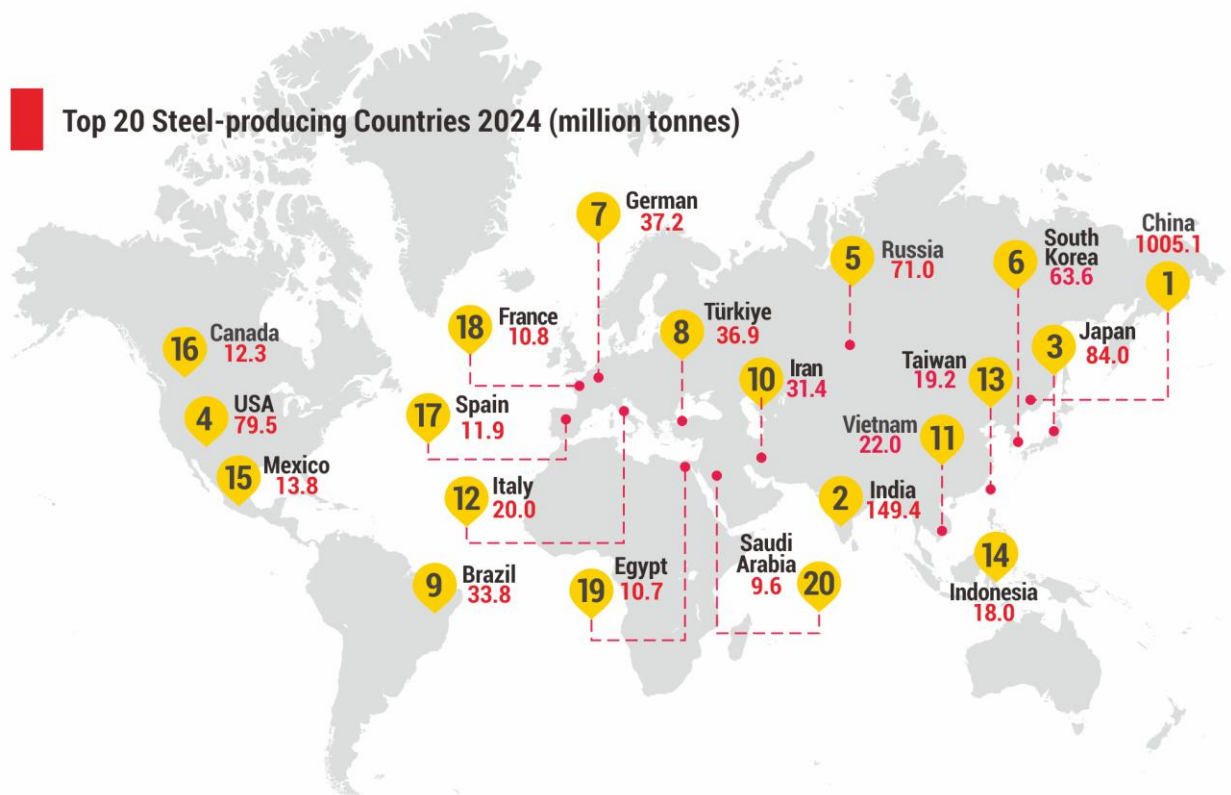


3.4 Ringkasan Pelaku Usaha dan Pasar Baja Global



Gambar 9. Grafik Perusahaan Baja Terbesar di Dunia berdasarkan Tonase Produksi pada 2024 (dalam juta ton)
(Sumber: Worldsteel, 2025)

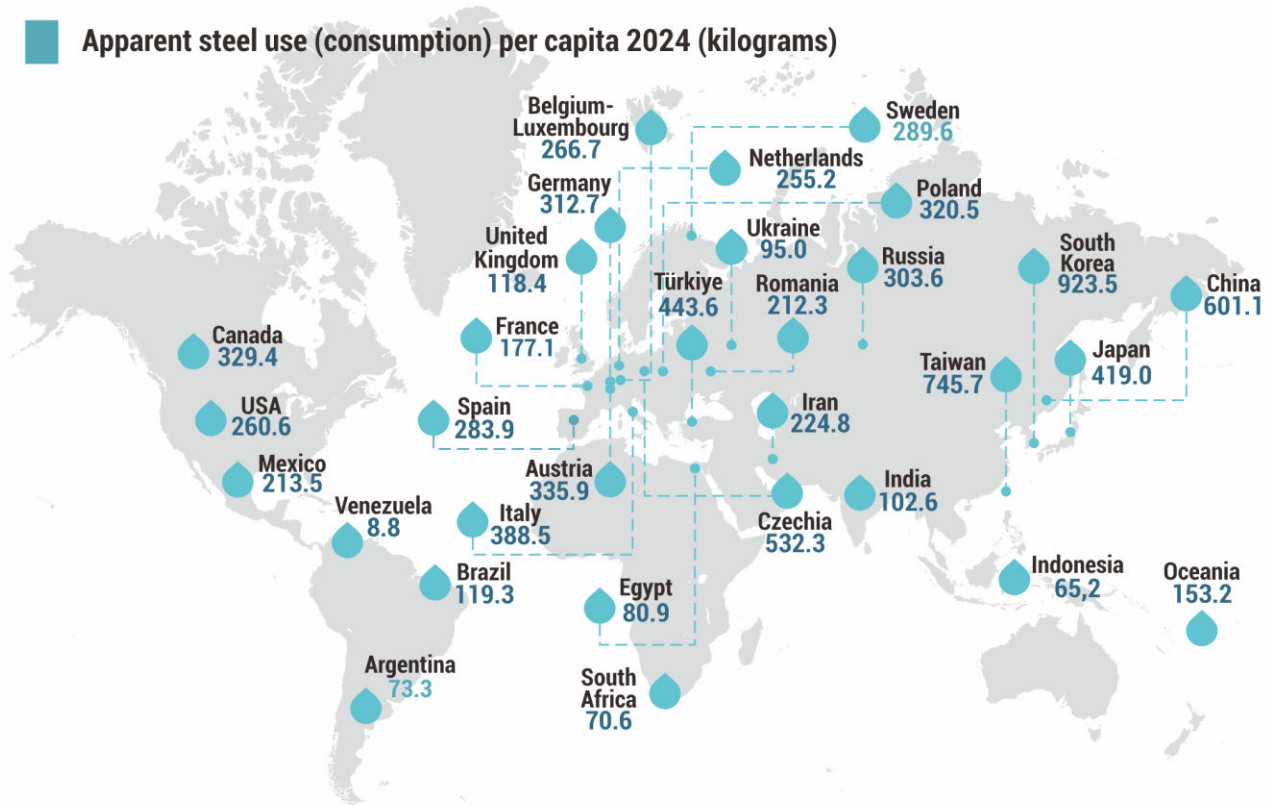
A da cukup banyak produsen baja di industri baja yang menjadi lebih populer dengan memproduksi baja dalam jumlah besar. Perusahaan dari negara Tiongkok menjadi produsen utama dengan jumlah produk tahunan hingga >1 miliar ton baja per tahun di keseluruhan industri. Pohang Iron and Steel Company (POSCO) sebagai produsen terbesar di Korea Selatan juga menjadi salah satu produsen baja terbesar di dunia. Berkantor pusat di Pohang, Korea Selatan, POSCO mengoperasikan dua pabrik terbesar di dunia yang berlokasi di Pohang dan Gwangyang yang bersama-sama memproduksi 33,7 juta ton baja per tahun. Baja pipih, baja panjang, pelat dan kabel merupakan produk utamanya. POSCO memiliki perusahaan *patungan* dengan Krakatau Steel yaitu PT Krakatau Posco yang terletak di Cilegon.



Gambar 10. Peta Negara Penghasil Baja di Dunia pada tahun 2024
(Sumber: Worldsteel, 2025)

China, India, dan Jepang menjadi negara produsen teratas dalam produksi baja dengan persentase 65% produksi dunia. Indonesia sementara menjadi negara terbesar ke-14 dengan jumlah 18 juta produksi baja (baik baja karbon ataupun baja tahan karat).

Apparent steel use (consumption) per capita 2024 (kilograms)

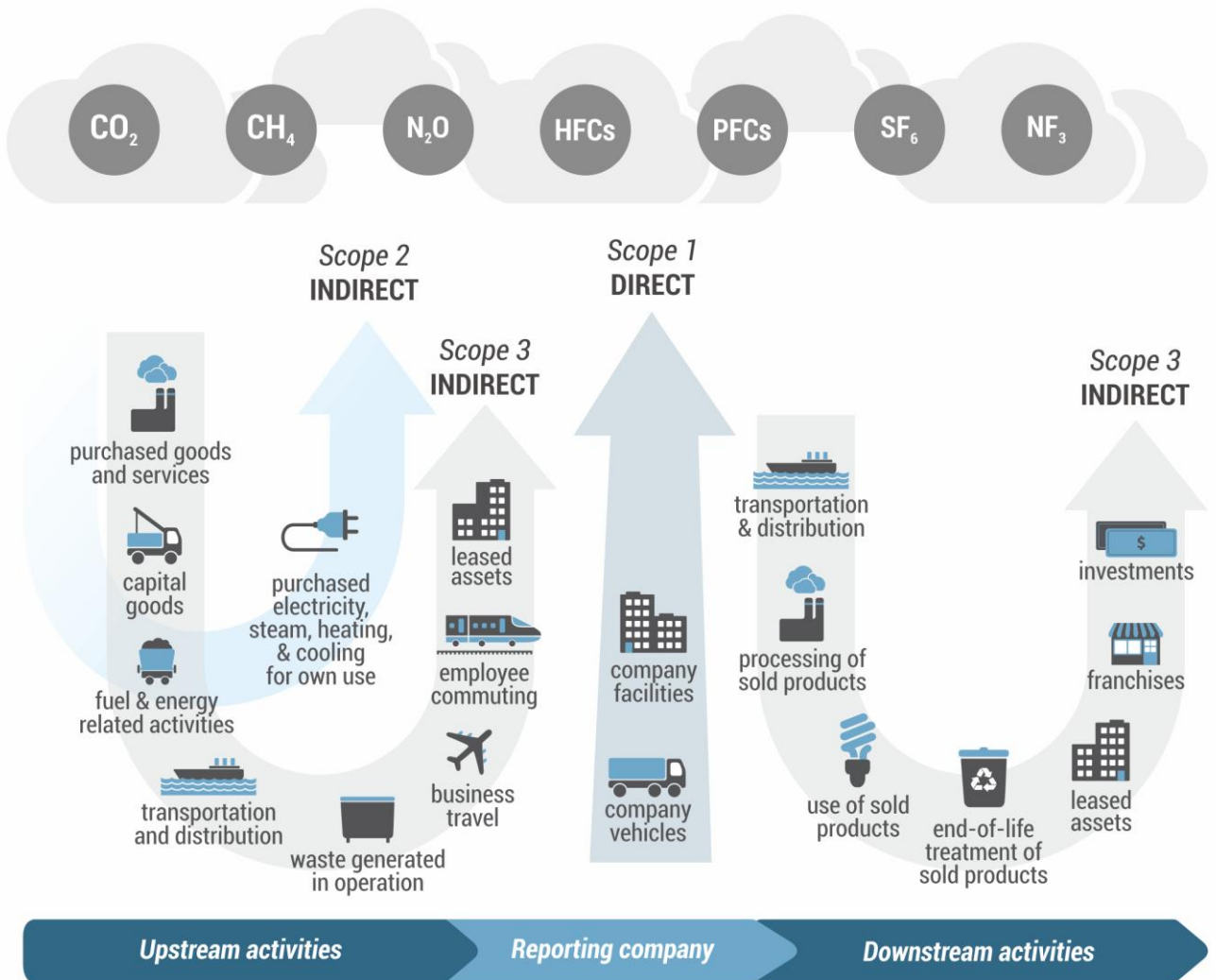


Gambar 11. Peta Konsumsi Baja per Sektor Area pada tahun 2024

(Sumber: worldsteel, 2025)

Konsumsi baja per kapita terbesar yaitu di Taiwan, Korea Selatan, dan China dengan rata-rata 756,3 kg baja/kapita/tahun. Konsumsi baja yang tinggi dapat dikaitkan secara tidak langsung dengan pertumbuhan ekonomi melalui pengembangan infrastruktur, otomotif, energi, dan transportasi. Indonesia sementara jauh lebih kecil dibandingkan negara di benua yang sama dengan 65,2 kg baja/kapita/tahun. Rasio ini berbanding lurus dengan produksi dan impor baja nasional, serta berbanding terbalik dengan jumlah penduduk, di mana Indonesia memiliki pertumbuhan baja sekitar 5,41% per tahunnya. Peningkatan konsumsi ini dilandasi oleh perkembangan ekonomi, industrialisasi, dan pertumbuhan infrastruktur di Indonesia.

3.5 Profil Emisi Karbon 1 dan 2



Gambar 12. Cakupan Emisi GRK dari Lapangan Usaha

(Sumber: GHGProtocol, CO2CRC, 2020)

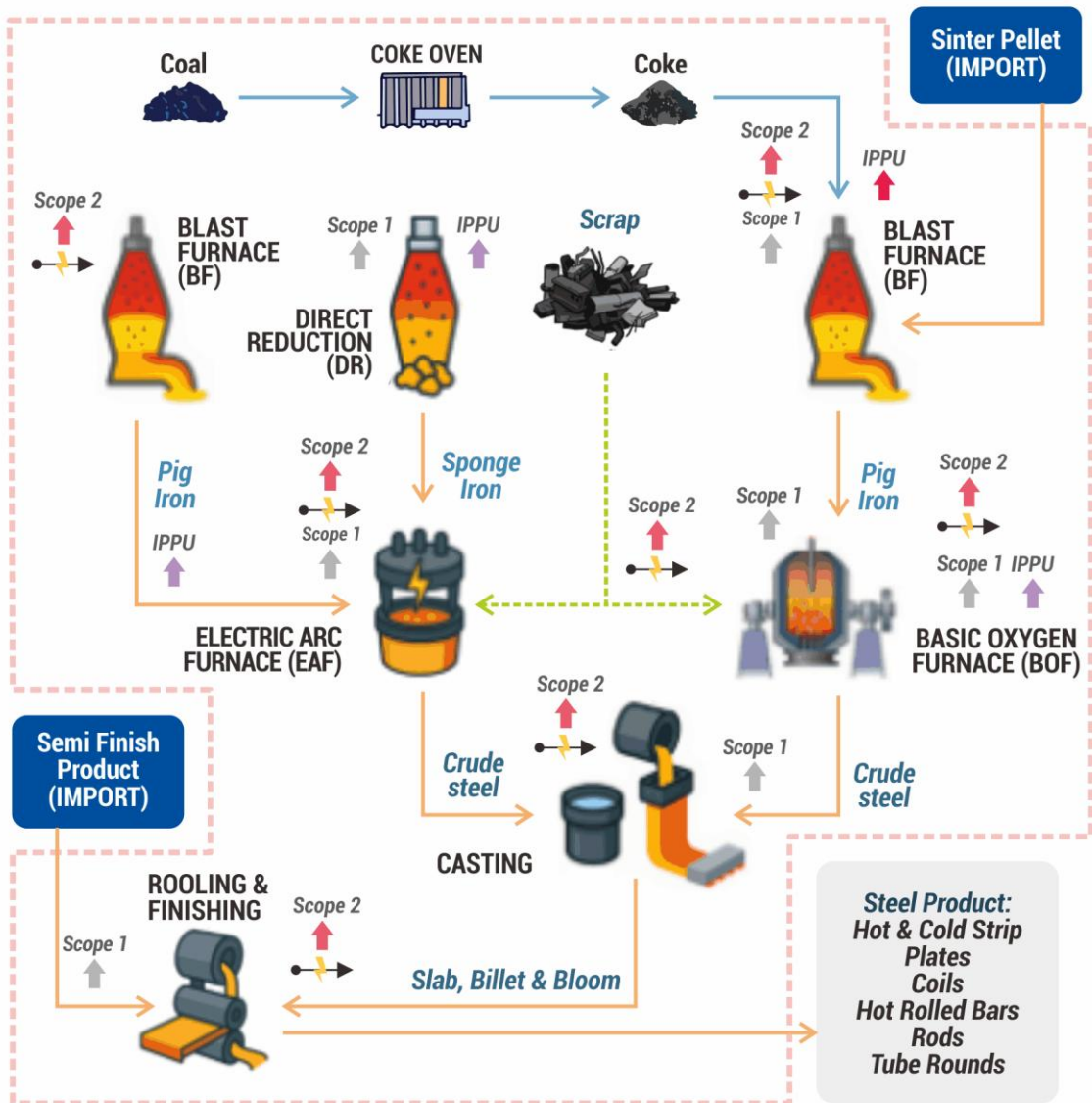
Emission Gas Rumah Kaca (GRK) Lingkup (**Scope**) 1 berasal dari sumber-sumber yang dimiliki atau dikendalikan oleh suatu organisasi (CO2CRC, 2020) (GRI 102: Climate Change 2025, *Global Reporting Initiative*). Emisi gas rumah kaca (GRK) Lingkup 1 adalah emisi yang dilepaskan ke atmosfer sebagai akibat langsung dari suatu kegiatan, atau serangkaian kegiatan di tingkat fasilitas. Emisi Lingkup 1 kadang-kadang disebut sebagai emisi langsung. Misalnya, dalam produksi baja, emisi CO₂ Lingkup 1 disebabkan oleh bahan bakar fosil dan bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan besi dan baja. Ini termasuk batu bara, kapur, dolomit, dan gas alam.

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Lingkup 2 mencakup emisi yang berasal dari pembangkitan listrik yang dibeli atau diperoleh, pemanasan, pendinginan, dan uap yang dikonsumsi oleh suatu organisasi (GRI 102: Climate Change 2025, Global Reporting Initiatives). Emisi gas rumah kaca (GRK) Lingkup 2 adalah emisi yang terkait dengan konsumsi tidak langsung komoditas energi. Misalnya, 'emisi tidak langsung' berasal dari konsumsi listrik yang diproduksi di fasilitas lain oleh Bluescope. Emisi Lingkup 2 yang dikaitkan dengan satu fasilitas merupakan bagian dari emisi Lingkup 1 dari fasilitas 'hulu' lainnya.

Intensitas emisi CO₂ adalah total emisi gas rumah kaca Lingkup 1 dan 2 dari produksi baja, per unit baja mentah yang diproduksi, dalam satuan (metrik) ton CO₂ ekuivalen per ton baja mentah. Di industri baja, emisi karbon bergantung pada jenis bahan bakar, campuran bahan bakar, dan modifikasi proses. Oleh karena itu, tren intensitas energi tidak selalu sejalan dengan tren emisi karbon. Pada tahun 2017, industri baja menyumbang 21% dari total penggunaan energi industri dan 24% dari emisi CO₂ langsung industri. Intensitas emisi dan energi bervariasi dari satu wilayah ke wilayah lain dan bergantung pada kualitas bahan baku (bijih besi dan batu bara) yang digunakan serta biaya energi. Selain itu, teknologi dan ukuran pabrik juga berperan dalam intensitas energi dan emisi pabrik baja (CO₂CRC, 2020).



Berikut merupakan skema potensi sumber emisi dari lingkup 1 dan 2 pada proses pengolahan baja di industri baja:



Gambar 13. Sumber Emisi Industri Baja dalam Lingkup Emisi 1 dan 2
(Sumber: Dewi RG, 2025)

3.6 Profil Krakatau Posco

PT KRAKATAU POSCO adalah perusahaan kerjasama antara PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Indonesia dan POSCO Korea yang beralamatkan di Kawasan Industri Krakatau, Jalan Afrika No.2, Samangraya, Citangkil, Cilegon, Banten. Konstruksi pembangunan dimulai pada tahun 2011 dan selesai dalam waktu 36 bulan menjadikan KRAKATAU POSCO sebagai Pabrik Baja Terpadu yang memiliki Teknologi *Blast furnace* pertama di Indonesia. Produksi komersial telah dimulai sejak awal 2014, serta melayani pasar baja Indonesia dan regional.

LOKASI, KAPASITAS, DAN JUMLAH KARYAWAN **KRAKATAU posco**

KAPASITAS PRODUKSI

3.0
Juta Ton/Tahun
Produksi Slab

1.5
Juta Ton/tahun
Produksi Pelat

JUMLAH KARYAWAN

± 2,400
Karyawan

AREA

388
Hektar

Fasilitas Utama (Pabrik Baja Terpadu)

- Coke Plant
- Sinter Plant
- Blast Furnace (3 Juta Ton/Tahun)
- Steelmaking Plant
- Plate Mill (1.5 Juta Ton/Tahun)

Fasilitas Pendukung

- Waste Treatment
- Water Treatment
- Oxygen Plant
- Power Plant
- Laboratory
- Raw Material Jetty
- Raw Material Yard
- Closed & Open yard



Gambar 14. Profil PT Krakatau Posco

(Sumber: PT Krakatau Posco, 2025)

Fasilitas industri baja eksisting di Krakatau Posco terdiri dari:

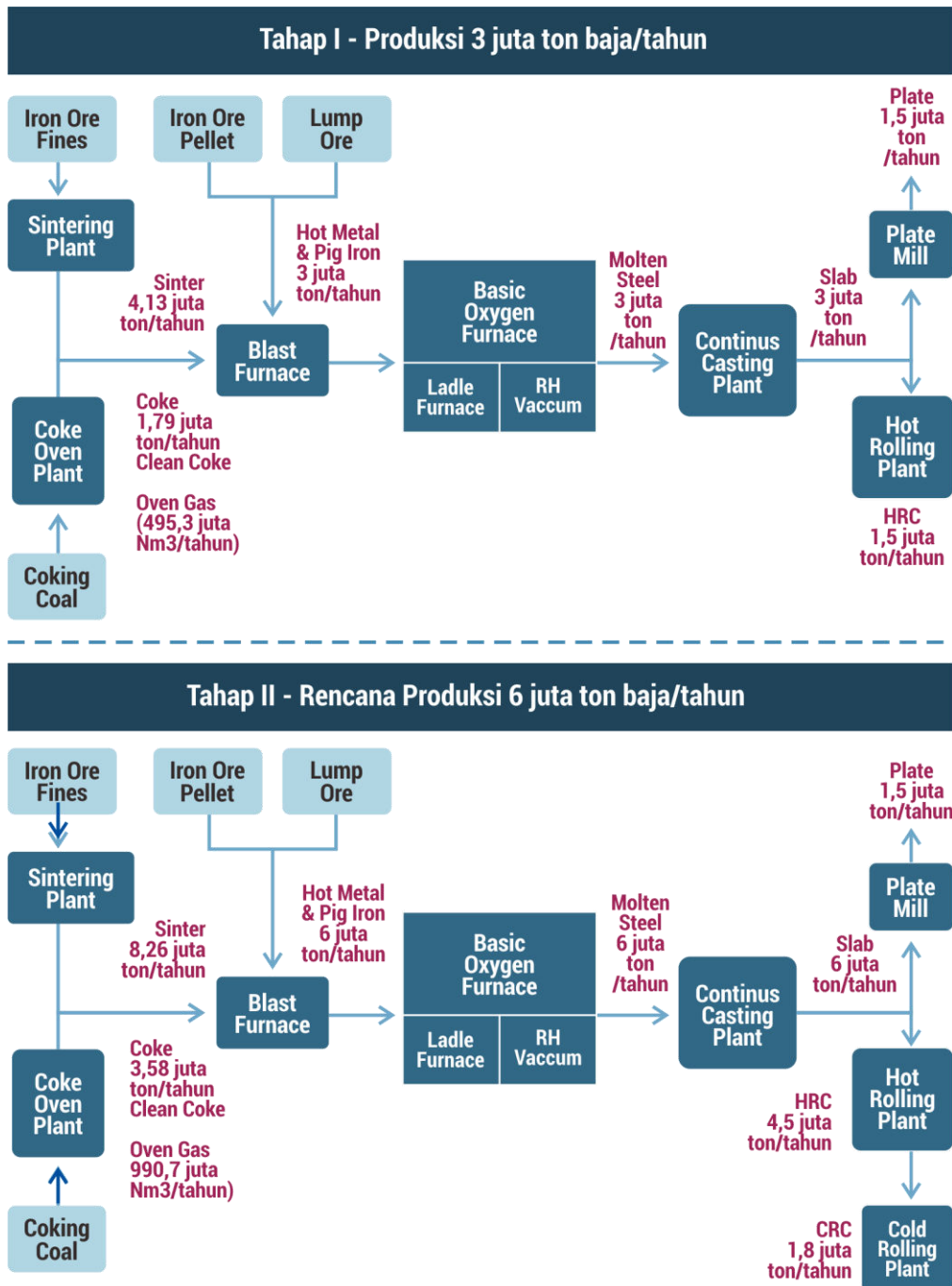
1. *Coke oven Plant* kapasitas produksi 2.642.000 *coke* ton/tahun.
2. *Sinter Plant* kapasitas produksi 9.382.000 *sinter ore* ton/tahun.
3. *Blast furnace* kapasitas produksi 8.260.000 hot metal ton/tahun, serta *Basix Oxygen Furnace*.
4. *Steel Making Plant* kapasitas produksi 6.000.000 *crude steel* ton/tahun.
5. *Continuous casting Plant* kapasitas produksi 6.000.000 *slab* ton/tahun.
6. *Plate mill* kapasitas produksi 4.000.000 *plate* baja ton/tahun.
7. *Hot Strip Mill / Hot Rolling Plant* (HRP) kapasitas produksi 1.500.000 *Hot Rolled Coil* (HRC) ton/tahun.

Serta fasilitas pendukung kegiatan produksi di dalam kawasan industri seperti:

1. PT Krakatau Posco Energy, PT Krakatau Chandra Energi, dan PT PLN (Persero) untuk sumber energi listrik.
2. Sumber oksigen industri baja terpadu PT Krakatau Posco berasal dari PT Linde Indonesia.
3. Kalsinasi kapur industri baja terpadu PT Krakatau Posco dilakukan oleh PT Krakatau Posco Chemtech Calcination/ PT Krakatau Posco Futurem.
4. *By Product Plant* industri baja terpadu PT Krakatau Posco dilakukan oleh PT Krakatau Poschem Dong-Suh Chemical.

Dengan target 6 juta ton *slab* baja (hasil dari *continous casting*), PT Krakatau Posco melakukan penambahan produksi baja/steelmaking di dalam area PT Krakatau Posco yang dinamakan *Plant 2* dengan total kapasitas produksi pelat baja 1,5 juta ton/tahun, HRC 4,5 juta ton/tahun, dan CRC 1,8 juta ton/tahun, terdiri dari:

1. *Hot Rolling Plant*, hasil *inbreng* Hot Strip Mills (HSM#2) dari PT. Krakatau Steel dengan kapasitas 1,5 juta ton HRC/tahun.
2. *Hot Rolling Plant* baru, dengan kapasitas 1,5 juta ton HRC.tahun.
3. Pengembangan *Cold Rolling mill* dengan kapasitas 1,8 juta ton CRC/tahun.



Gambar 15. Perbedaan Tahapan Proses dan Jumlah Produksi Tahap I dan II di PT Krakatau Posco

(Sumber: diolah dari AMDAL PT Krakatau Posco, 2025)

Pada setiap proses, terdapat material/bahan yang dikonsumsi untuk proses, namun terdapat beberapa material yang berbahaya dan menyebabkan pencemaran lingkungan maupun krisis iklim, pembahasan akan dijelaskan pada sub bab Analisis Hubungan Polutan Berbahaya dengan Penyakit dan Lingkungan.

Tabel 3. Bahan Baku dan Konsumsi Material yang Digunakan PT Krakatau Posco

Pabrik/Plant	Fungsi Bahan baku/penolong (support)	Nama Bahan Baku/Penolong
Iron Making		
Pabrik Sinter Plant	Bahan baku di Sinter Plant	Bijih Besi
	Bahan pendukung di Sinter Plant	Kokas Halus
		Batu kapus
		Pasir Kuarsa
		Batuan Serpentin
		Sinter halus hasil daur ulang
Bahan baku daur ulang dari limbah	Campuran besi	
Pabrik coke oven Plant	Bahan baku di coke oven Plant	Batubara kokas keras
	Bahan penolong di coke oven Plant	Tidak ada
Pabrik blast furnace Plant	Bahan baku di blast furnace Plant	Bijih sinter
		Pelet bijih besi
		Bijih bongkah (lump ore)
	Bahan penolong di blast furnace	Kokas
		Batubara bubuk injeksi (pulverized coal injection)
		Batu kapur
		Pasir kuarsa
Steel Making		
Basic oxygen furnace (BOF)	Bahan baku di BOF Plant	Logam cair panas
		Cold pig iron
		Return molten steel (hot scrap)
		Baja daur ulang
		Terak baja
	Bahan penolong di BOF Plant	Fluks (bahan tambahan untuk mengikat kotoran/slag) yang terdiri dari dolomit dan kapur
		Paduan Ferro
Continuous casting Plant	Bahan baku continuous casting	Baja Mentah / Cair
	Bahan penolong continuous casting	Tidak ada
Rolling		
Plate mill Plant	Bahan baku di plate mill	Slab/Lempeng baja setengah jadi
	Bahan penolong di plate mill	Tidak ada
Hot Rolling Plant (HRP)	Bahan baku di HRP	Slab/Lempeng baja setengah jadi
	Bahan penolong di HRP	Tidak ada
Cold Rolling mill	Bahan baku di Cold Rolling Mill	Gulungan Baja Canai Panas
	Bahan penolong Cold Rolling Mill	Tidak ada

Asal bahan baku utama berasal dari:

1. *Fine iron* akan berasal dari Indonesia dan Australia.
2. *Lump ore* berasal dari Indonesia.
3. *Pellet* dari Brazil.
4. *PCI Coal* dari Indonesia.
5. *Cooking Coke* dari Australia.
6. *Dolomite* dari Indonesia.



Maka dari itu, objek riset AEER untuk dekarbonisasi industri adalah PT Krakatau POSCO karena masih mengutilisasi energi fosil melalui *blast furnace* dalam proses *steelmaking* dan menjadi salah satu pemain baja terbesar di Indonesia. Perusahaan dengan laju pengembangan dan prospek tinggi menjadi alasan mengapa PT Krakatau Posco wajib untuk didekarbonisasi karena prosesnya yang terus berlanjut dan meningkat. Selain itu, keterkaitannya dengan POSCO Korea Selatan dapat menjadi alasan tambahan karena telah menjadi perusahaan kelas global.

Krakatau Posco Energy sebagai salah satu penyedia tenaga listrik untuk Pabrik Baja Terpadu milik PT Krakatau Posco Energy memanfaatkan gas buang yang dihasilkan dari Pabrik Baja Terpadu sebagai bahan bakar utama pembakaran. Sistem pembakaran menggunakan gas buang dari proses produksi baja menjadi uap yang dihasilkan di boiler sehingga pada akhirnya uap dari boiler akan menggerakkan turbin untuk menggerakkan generator. Besar kapasitasnya adalah 2 x 100 MW dan berdiri sejak 1 Agustus 2011.

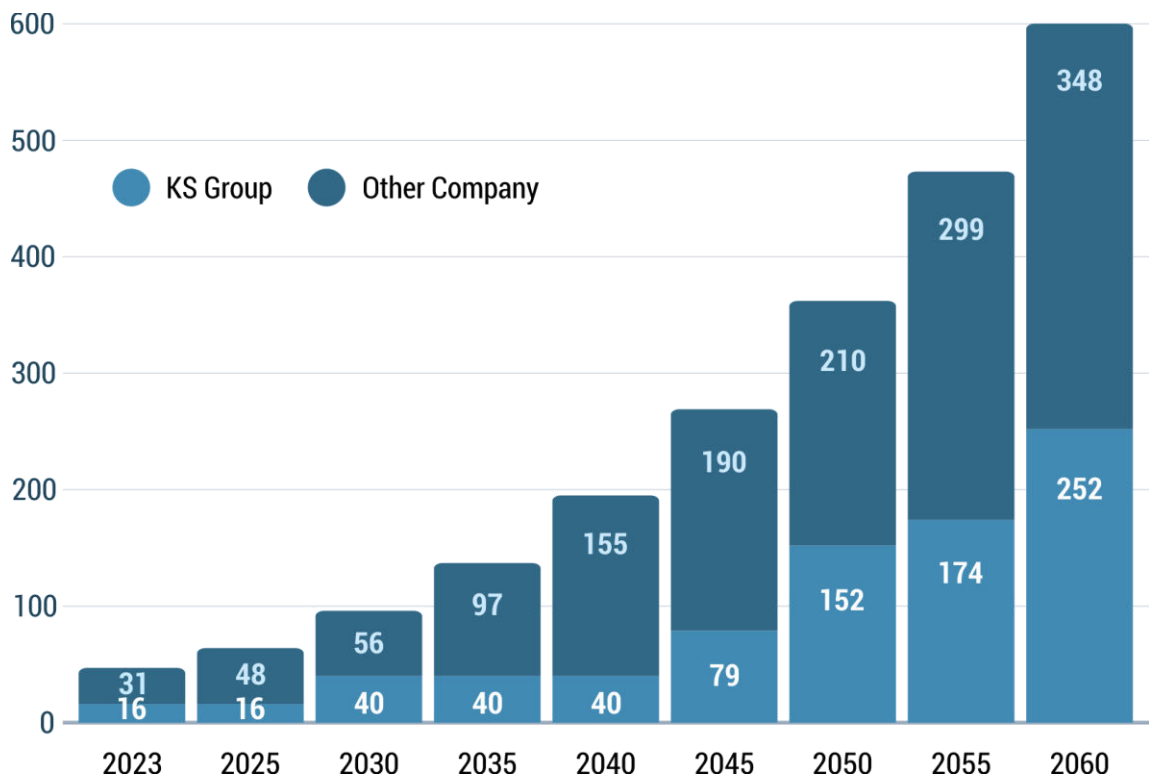
3.7 Narasi Pertumbuhan Produksi 6 Juta Ton Slab Baja/Tahun dan Emisi Nasional

Indonesia dalam mengejar target top 4 ekonomi dunia membutuhkan baja sebagai salah satu komponen penting. Narasi industrialisasi seperti manufaktur untuk peningkatan nilai tambah komoditas menjadi salah satu tujuan utama negara. Namun, baja menjadi komponen utama dalam pembangunan industri maupun infrastruktur pendukungnya (jalan, bangunan, energi) yang akan semakin meningkat dari tahun ke tahun hingga tahun 2060 saat mencapai target *Net Zero Emission* yang mana energi terbarukan dan industri hijau seharusnya sudah terbangun dengan material baja sebagai pondasi. Namun, menurut data yang didapatkan oleh tim AEER, setidaknya kebutuhan dan produksi baja nasional akan meningkat 12x dari tahun 2023. Hal ini menjadi peringatan besar karena baja menjadi salah satu emiter CO2 terbesar di Indonesia dan akan berpotensi meningkat seiring peningkatan produksi.

Tabel 4. Proyeksi Produksi Industri Besi dan Baja Indonesia hingga tahun 2060

Steel Demand-Supply (juta ton)	2023	2030	2050	2060
Indonesia	16,0	33,0	125,0	207,0
KS Holding	2,4	-	-	-
KS Affiliation	3,0	13,7	52,5	87,0
Others	10,6	19,3	72,5	120,0
KS Group Steel Supply	34%	42%	42%	42%

(Sumber: PT Krakatau Steel, 2025)



Gambar 17. Grafik Proyeksi Peningkatan Emisi di Industri Baja Nasional (dalam juta ton CO₂)

(Sumber: PT Krakatau Steel, 2025)

Industri besi dan baja diperkirakan akan memiliki peningkatan emisi CO₂ hingga 11,7x pada tahun 2060 dari tahun 2023. Jika dibandingkan dengan data emisi nasional tahun 2022 yang berjumlah 880 juta ton CO₂, emisi industri baja akan memiliki porsi 68,1% dari emisi nasional dan ini hanya berasal dari industri baja saja sehingga harus menjadi perhatian bersama untuk dapat dilakukan langkah-langkah dekarbonisasi segera. KS Group sendiri (dengan Krakatau Posco di dalamnya) menyumbang emisi CO₂ sekitar 42% per tahunnya sejak 2030, bisa dilihat dengan rencana penambahan produksi hingga 6 juta ton baja/tahun menjadi salah satu indikator bahwa proyeksi peningkatan produksi ataupun emisi menjadi nyata.

3.8 Ekspor Krakatau Posco

Negara tujuan ekspor Krakatau Posco secara spesifik belum ada detail tujuan tiap tahunnya. Namun berdasarkan informasi yang didapat, PT Krakatau Posco mengirim baja ke Brazil, Spanyol, Polandia, Amerika Serikat, Belgia, dan Portugal. PT Krakatau Posco sebenarnya tidak secara langsung mengekspor, namun anak usaha PTKS yaitu PT. Krakatau Baja Industri yang melakukan kegiatan ekspor namun bahan olahan dan produknya didapatkan dari PT. Krakatau Posco dan kolaborasi pengolahan dengan PTKS dan anak usahanya. Hal ini dikarenakan PT Krakatau Posco belum memiliki fasilitas pengolahan untuk membuat baja CRC maka menggunakan jasa PT KBI, namun hal ini akan berubah jika PT Krakatau Posco memiliki pabrik CRM sendiri.

Ekspor ke negara-negara maju di Eropa dan Amerika Serikat akan menghadapi tantangan besar dengan adanya kebijakan tarif karbon seperti CBAM di Uni Eropa dan *Foreign Pollution Fee Act* (FPFA) di Amerika Serikat yang mengatur bea karbon terhadap impor baja beremisi tinggi. Kebijakan ini bertujuan menekan impor baja dengan jejak karbon besar dan dapat mengurangi daya saing produk baja Indonesia di pasar global. PT Krakatau Posco, salah satu produsen baja terkemuka di Indonesia, mengekspor produk utamanya, yaitu *Hot Rolled Coil* (HRC) dan *plate*, ke Uni Eropa dengan volume masing-masing sekitar 340 dan 480 ribu ton dalam dua tahun terakhir (IISIA, 2024). Pertama, persaingan ekspor baja ke Uni Eropa akan semakin ketat. Kedua, jika kuantitas ekspor menurun, produk yang semula ditujukan untuk ekspor dapat beralih ke pasar domestik; namun apabila pasar tidak mampu menyerapnya, industri berisiko mengalami penurunan kinerja operasional dan finansial. Ketiga, penerapan kebijakan seperti CBAM dan FPFA juga menimbulkan beban finansial tambahan melalui kewajiban pembelian sertifikat emisi dan potensi tarif karbon, sehingga meningkatkan biaya produksi bagi produsen baja Indonesia.

Pada tahun 2022, produsen baja nasional melakukan ekspor produk baja ke UE sejumlah 975 ribu ton atau hanya sekitar 7% dari total volume ekspor. Dari sisi nilai, ekspor produk baja nasional ke UE mencapai USD1.049 juta atau hanya mencapai 4% dari keseluruhan ekspor produk baja. Negara tujuan ekspor produk baja nasional terbesar adalah Tiongkok dan Taiwan yang masing-masing memiliki volume 8,3 (55%) dan 1,3 (8%) juta ton dengan nilai mencapai USD19 (67%) dan USD2,2 (8%) miliar.

Penerapan CBAM akan mengakibatkan tambahan biaya dalam bentuk pembelian sertifikat emisi karbon. Tambahan biaya ini akan sangat bergantung pada jumlah emisi yang dihasilkan oleh produsen baja. Sebagai ilustrasi, dengan menggunakan data emisi rata-rata yang dihasilkan produsen baja nasional pada tahun 2019 dan volume impor tahun 2022 yang mencapai 975 ribu ton maka nilai sertifikat yang harus dibayarkan akan mencapai €383 juta atau senilai €390 per ton produk baja (IISIA, 2024). Biaya sertifikat ini sangat tinggi dan dapat dipastikan akan mengakibatkan produk baja Indonesia tidak akan mampu bersaing dengan produk baja Eropa dan negara lainnya yang memiliki emisi karbon rendah. CBAM juga memiliki proteksi karbon di seluruh rantai pasok, jadi walaupun ekspor baja ke negara Tiongkok untuk pembuatan EV ataupun produk olahan lain akan tetap terkena tarif karena dilanjutkan untuk diekspor ke Eropa.

3.9 Dorongan Produksi Baja Hijau dan Potensi Konsumen di Tingkat Nasional dan Global

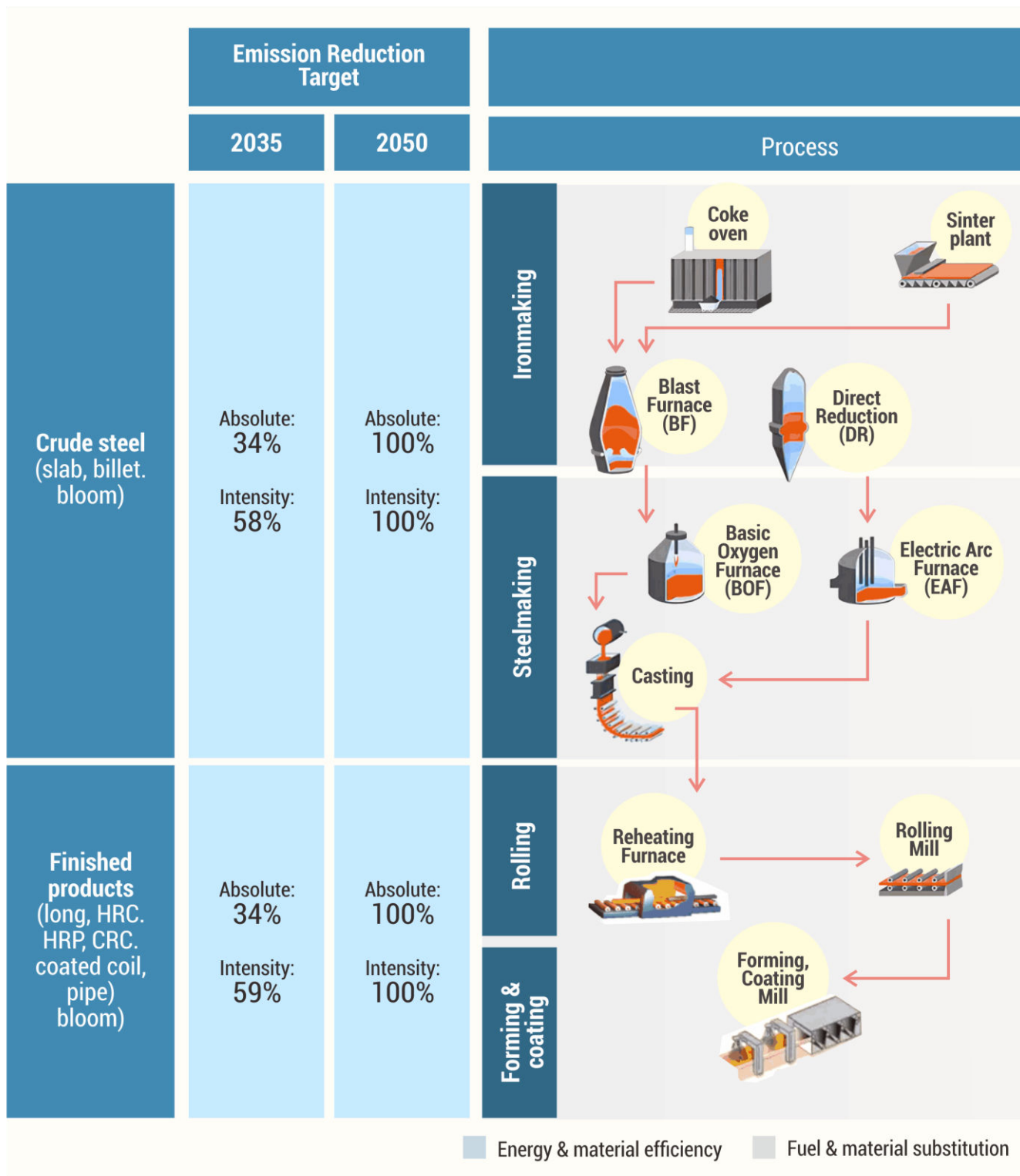
Tren hijau (atau pertumbuhan hijau) adalah upaya global untuk menciptakan pembangunan ekonomi yang sejalan dengan kelestarian lingkungan, dengan menerapkan teknologi dan praktik berkelanjutan di berbagai sektor. Di sektor industri, teknologi green steel atau baja hijau sangat penting untuk mengatasi krisis iklim. Selain itu, baja hijau juga diperlukan karena beberapa alasan.

Pertama, dalam pembuatan baja konvensional sangat bergantung pada batu bara (kokas) dan bahan bakar fosil, sehingga menyebabkan emisi besar gas rumah kaca (seperti CO₂), serta tingginya polutan udara lainnya (SO₂, NO_x) dan logam berat. Kedua, polutan-polutan tersebut menyebabkan berbagai masalah pernapasan seperti asma dan bronkhitis, yang memengaruhi masyarakat di sekitar industri baja. Terakhir, adanya deplesi sumber daya, dimana proses konvensional mengonsumsi sejumlah besar bahan mentah baru dan air, sehingga memberikan tekanan pada sumber daya alam.

Saat ini, industri baja global bertanggung jawab atas 7-8% emisi gas rumah kaca (GRK) global. Sekitar 75% baja masih diproduksi di tanur sembur (*blast furnace*) berbahan batu bara, yang melepaskan emisi CO₂ dalam jumlah besar ke atmosfer. Industri besi dan baja juga berkontribusi atas 2.65% emisi nasional pada tahun 2023 (Kemenperin, 2025).

Menurut International Energy Agency (IEA), emisi dari baja harus dikurangi hingga 50% pada tahun 2050 dan terus turun setelahnya, agar dunia dapat mencapai target iklim. Agus Gumiwang selaku Menteri Perindustrian RI juga menegaskan jika Kementerian Perindustrian atau Kemenperin akan menargetkan *Net Zero Emission* sektor manufaktur pada tahun 2050. Hal tersebut disampaikan di acara *Annual Indonesia Green Industry Summit (AIGIS) 2025* yang bertemakan "Mendorong Dekarbonisasi Industri melalui Ekosistem Industri Hijau".

Nilai emisi yang akan semakin tinggi ini bisa menjadi penghambat target *Net Zero Emission* tahun 2050. Maka dari itu, perlu dilakukan strategi dekarbonisasi terpilih untuk industri besi dan baja, berikut rencana yang dihimpun dalam AIGIS 2025:



Gambar 18. Strategi Dekarbonisasi untuk Industri Besi dan Baja
(Sumber: Kemenperin, 2025)

Decarbonization strategies

Alternatives

For BF-BOF route:

Waste heat recovery,
meeting global best
available energy
intensity

Switch BF-BOF
to DRI-EAF

For DRI-EAF route:

Natural gas
substitution to
green hydrogen

EAF coke
substitution
with biomass

For DRI-All

Other energy
efficiency measures

Increase scrap ratio

Solar PV installation
(utility)

BF injection
coal substitution
to biomass &
natural gas

Coke substitution
to hydrogen

Increase
scrap ratio

Solar PV
installation

CCU (soda ash)
for DRI & EAF

Grid electricity mix
following RUKN

Offsetting

Purchasing
low carbon
steel input

Offsetting

Diesel substitution
to natural gas

Solar PV
installation

Natural gas substitution to
green hydrogen & biomass

Grid electricity
mix following
RUKN

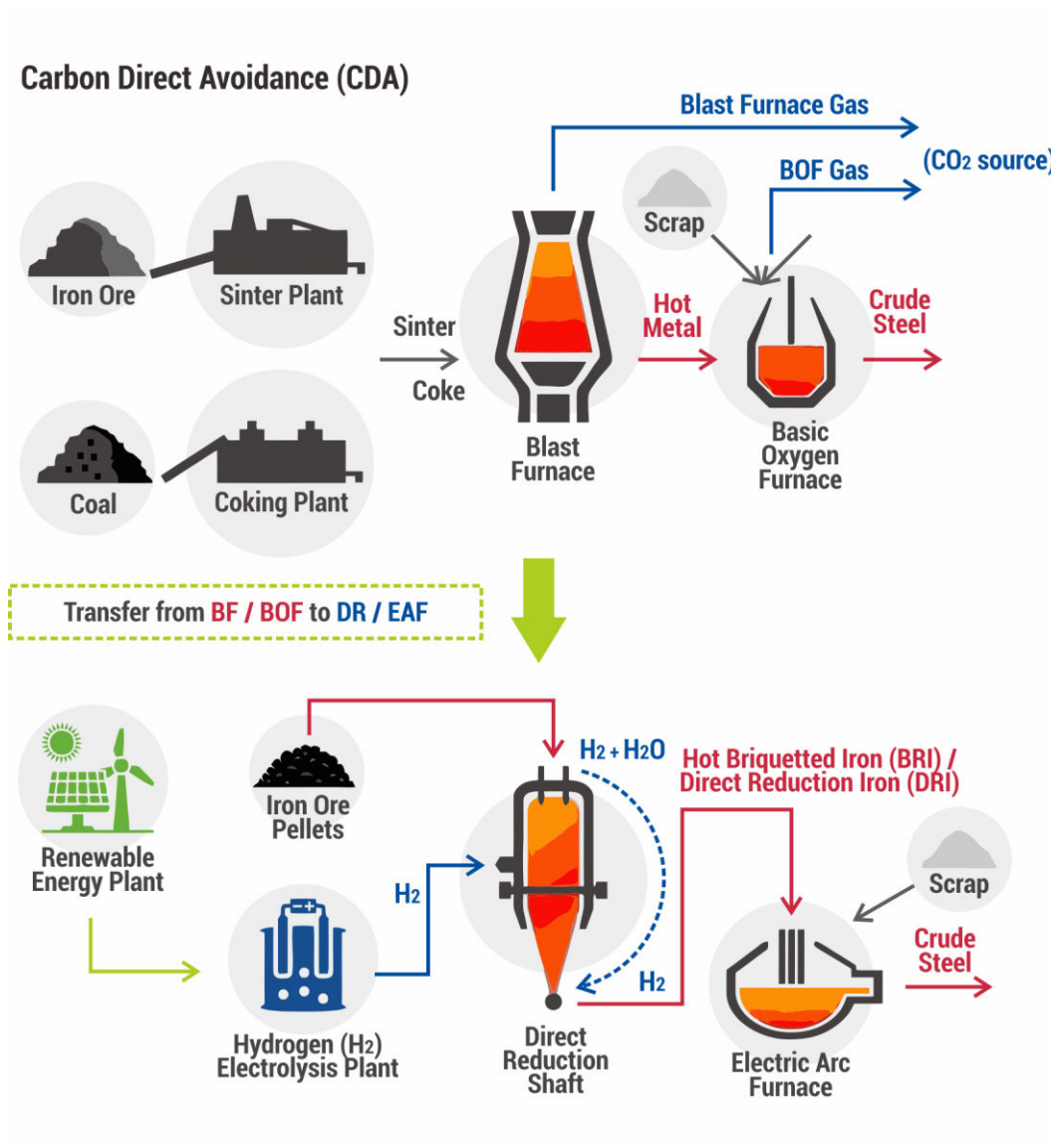
Process improvement

Low carbon electricity & electrification

Carbon capture & storage

AEER melihat bahwa ada beberapa strategi AIGIS yang harus diterapkan dalam proses dekarbonisasi industri baja, diantaranya:

1. Transisi teknologi produksi baja kasar dari BF-BOF ke DRI-EAF yang mulai berlaku sejak tahun 2027 untuk pabrik BF-BOF yang baru, dan tahun 2030 untuk pabrik BF-BOF lama;
2. Efisiensi energi pada pabrik Scrap-EAF sejak tahun 2026;
3. Substitusi bahan bakar gas alam menjadi hidrogen hijau dan kokas menjadi biofuel yang dimulai dari tahun 2035 dan 2030;
4. Pembelian listrik rendah karbon mengikuti skenario RUKN



Gambar 19. Opsi Teknologi Net Zero Emission (NZE) untuk Transformasi menuju Baja Hijau
(Sumber: IISIA, 2025)

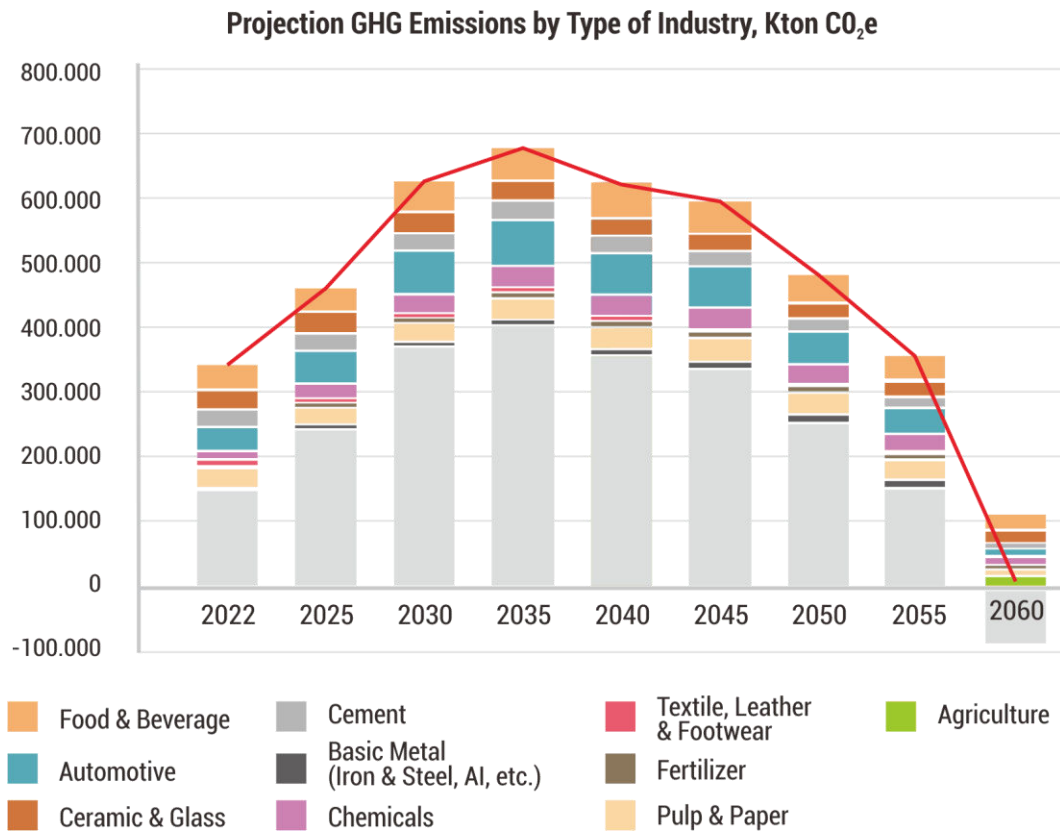
Jika akan melakukan transisi teknologi BF-BOF menjadi Scrap-EAF, maka diperlukan scrap hingga mencapai 15,17 juta ton per tahun, pada tahun 2050. Namun keterbatasan scrap di Indonesia sangat penting untuk dipertimbangkan dalam transisi bahan baku pembuatan baja kasar. Ditambah lagi, sirkulasi dari baja rongsokan ke industri masih kurang baik dan juga kualitasnya bervariasi tercampur dengan karat, non-metal, atau material residu. Jika bahan scrap tercampur dengan logam berat atau bahan kimia berbahaya, maka bisa berdampak buruk terhadap kesehatan manusia. Untuk produk baja berkualitas tinggi, scrap murni saja tidak cukup, sehingga perlu campuran *Direct Reduced Iron* (DRI) atau *pig iron*. Maka dari itu, akan lebih baik menggunakan teknologi DRI-EAF sebagai program transisional menggantikan teknologi *Blast Furnace*.

3.10 Realisasi Komitmen Iklim Indonesia melalui Dekarbonisasi Industri

Komitmen iklim Indonesia melalui dokumen *Second Nationally Determined Contributions* (SNDC) akan diselaraskan dengan skenario pembatasan suhu bumi 1,5 derajat celsius dan membandingkan pengurangan emisi terhadap inventarisasi GRK tahun 2019 sehingga memberikan rujukan perbandingan antarnegara yang lebih akurat. Selain itu, SNDC mengintegrasikan desain karbon biru (*blue carbon*) yang menambah fokus sektor menjadi kehutanan, energi, limbah, pertanian, industri, dan kelautan ([DPR, 2024](#)).

Tak hanya itu perlu juga mencantumkan target pengurangan emisi sebesar 31,89% secara mandiri atau 43,2% dengan dukungan internasional pada 2030, serta puncak emisi di 2035. Industri sebagai *emitter* terbesar perlu diperhatikan pengembangan dan langkah dekarbonisasi, terlebih industri baja agar tidak semakin memberatkan target dan komitmen iklim yang sudah ada. Peningkatan emisi hingga puncak di 2035, target NZE di 2050 untuk industri, serta pertumbuhan industri yang semakin pesat melalui hilirisasi dan pertumbuhan ekonomi akan menjadi tantangan tersendiri untuk industri dalam melakukan proses dekarbonisasi. Maka dari itu diperlukan *roadmap*, regulasi, dan strategi segera.





Gambar 20. Proyeksi Emisi GRK dari Tipe Industri dalam Ton CO₂
(Sumber: Dewi RG, 2025)



IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Hasil Perhitungan Karbon dan Bahaya Iklim

4.1.1 Perhitungan lingkup emisi GRK

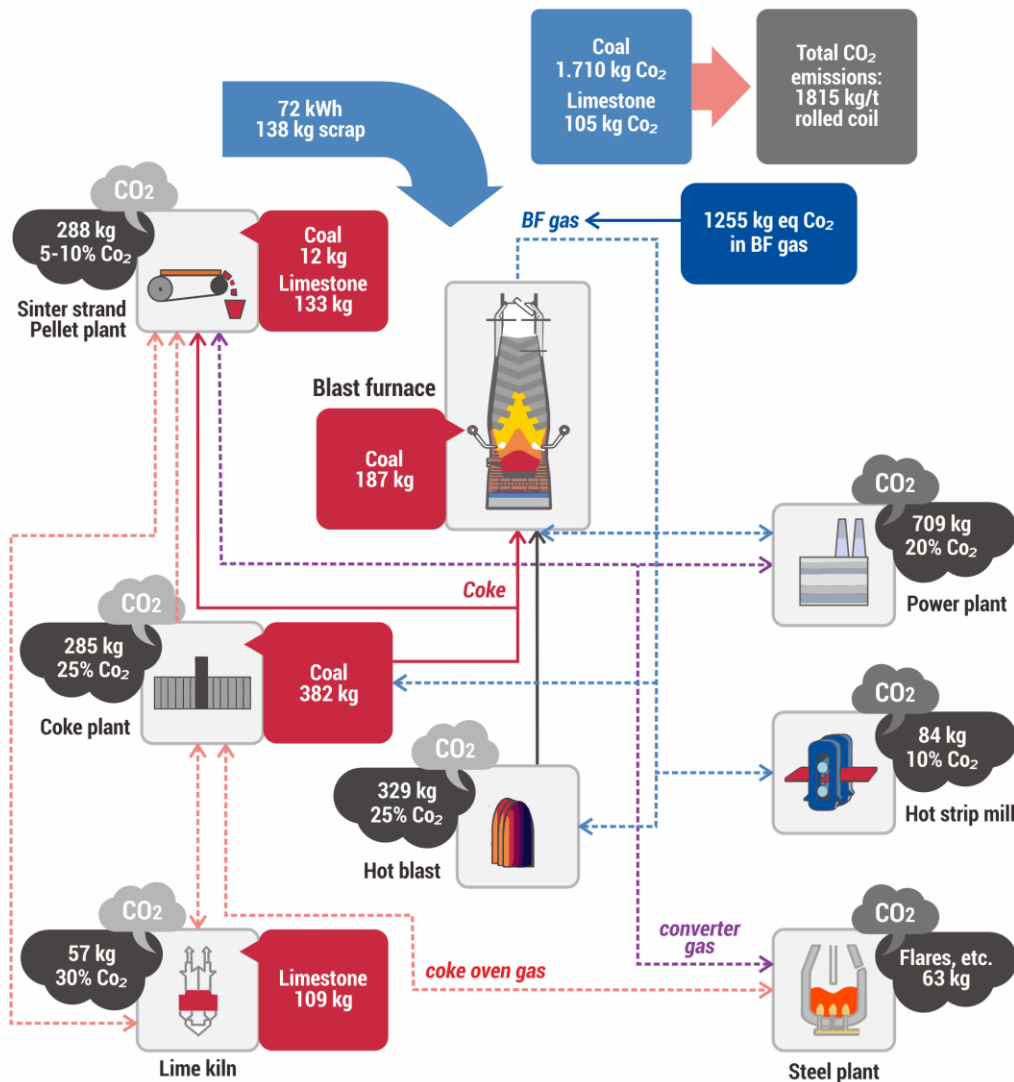
Perusahaan secara mandiri telah memberikan perhitungan emisi GRK tahunan dari aktivitas perusahaan. Namun secara matematis, emisi karbon yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan peningkatan kuantitas produksi. Setidaknya emisi karbon yang dihasilkan akan meningkat 2x lipat dengan adanya peningkatan produksi dari 3 juta ton baja/tahun menjadi 6 juta ton baja/tahun. Hal ini perlu menjadi perhatian perusahaan ataupun pemerintah karena perhitungan karbon akan memberatkan dari segi *carbon trading/credit/tariff* dan juga inventarisasi emisi GRK secara nasional.

Tabel 5. Total GRK di Industri Baja PT Krakatau Posco Tahun 2024

No	Plant	Total Gas Rumah Kaca (TCO ₂ /Tahun) - Tahap I	Total Gas Rumah Kaca (TCO ₂ /Tahun) - Tahap II	Perhitungan Matematis Tahap II (TCO ₂ /tahun)*
1	Sinter Plant	1.419.615	1.419.615	2.839.230
2	Coke oven Plant	1.354.434	1.354.434	2.708.868
3	BF - Steel Making - CCP	2.656.685	2.656.685	5.313.370
	Total	5.430.734	543.0734	10.861.468
*berdasarkan angka jumlah produksi				

(Sumber: diolah dari AMDAL PT Krakatau Posco, 2025)

Jika mengambil jumlah produksi maksimal yaitu 3 juta ton baja/tahun, rata-rata emisi PT Krakatau Posco adalah 1,81 ton CO₂/ton baja atau lebih tinggi dari rata-rata global pada 2023 sebesar (1,92 tCO₂/ton baja) dan rata-rata nasional pada 2023 sebesar 1,84 tCO₂/ton baja. Tingginya rata-rata emisi nasional diakibatkan oleh peningkatan penggunaan *Blast furnace* untuk baja karbon dan batu bara untuk baja tahan karat. Walaupun lebih rendah dari rata-rata emisi, perusahaan harus tetap melakukan dekarbonisasi dan menjadi pionir dalam industri baja nasional. Perlu diketahui bahwa perhitungan menggunakan angka kapasitas maksimal sebesar 3 juta ton baja/tahun di mana realisasinya bisa lebih rendah jumlahnya dan jumlah rata-rata emisinya bisa besar hingga lebih dari 2 tonCO₂/ton baja, atau lebih tinggi dari rata-rata emisi nasional.



Gambar 21. Sumber Emisi GRK pada BF-BOF dalam Proses Ironmaking dan Steelmaking
(Sumber: Aziz et al, 2022)

Perhitungan AEER dilakukan untuk menghitung estimasi CO₂ yang dikeluarkan oleh PT Krakatau Posco dalam kapasitas penuh selama satu tahun. Skenario yang dilihat adalah Fase 1 atau eksisting dengan produksi 3 juta ton baja mentah/*slab steel* dan Fase 2 dengan produksi 6 juta ton baja mentah per tahun. Perhitungan dilakukan berdasarkan *Greenhouse Gas Protocol* berjudul "*Calculating Greenhouse Gas Emissions from Iron and Steel production*" melalui data produksi tahunan dan jumlah material/bahan baku yang digunakan dan mengandung karbon.

Lingkup karbon yang dihitung adalah lingkup 1 dari proses internal PTKP dan lingkup dua yaitu energi yang dibeli dari PT Krakatau Chandra Energi. Perhitungan hanya mencakup proses *Sintering*, *Coke Oven Plant*, *Blast Furnace*, *Basic Oxygen Furnace*, dan *Continuous Casting Plan (CCP)* dan tidak menghitung tahapan *Rolling* dan lingkup 3 dari aktivitas pendukung perusahaan.

Tabel 6. Rekap Perhitungan Karbon

Component	Tahap I - 3 juta ton <i>slab</i> baja/tahun			Tahap II - 6 juta ton <i>slab</i> baja / tahun		
	GHG emissions (metric tonne CO ₂ e)					
	CO ₂ (fossil)	CH ₄ (fossil – combustion & non fossil)	Total anthropogenic emissions from component	CO ₂ (fossil)	CH ₄ (fossil – combustion & non fossil)	Total anthropogenic emissions from component
<i>Stationary combustion (Scope 1)</i>	2.202,17		2.202,2	2.202,17		2.202,2
<i>Stationary combustion (Scope 2)</i>	313.991,70		313.991,7	313.991,70		
<i>Onsite coke production</i>	1.087.979,90	3,67	1.087.983,6	2.181.973,13	7,34	2.181.980,5
<i>Offsite coke production</i>			-			-
<i>Flaring</i>			-			-
<i>Sinter production</i>	1.134.789,99	8.065,89	1.142.855,9	2.269.579,99	16.131,78	2.285.711,8
<i>DRI production</i>						
<i>Iron and Steel production</i>	6.959.890,08	8,23	6.959.898,3	13.930.299,83	16,46	13.930.316,3
<i>Onsite lime production</i>			-			-
<i>Offsite lime production</i>			-			-
	Total Tahap I		9.506.931,63	Total Tahap II		18.400.210,69

(Sumber: AEER, 2025)

Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara perhitungan emisi CO₂ dari PT Krakatau Posco dan AEER, hal ini mungkin dikarenakan perhitungan asumsi yang berbeda, serta perbedaan analisis saintifik dan lapangan. Namun, terdapat urgensi yang terlihat jelas yaitu emisi karbon yang tinggi hingga jutaan ton. Jika dibandingkan dengan jumlah emisi industri nasional pada 2022 sebesar 340 juta, tahap I PT Krakatau Posco saja sudah mencapai 2,8% dari total emisi dan hanya dari satu perusahaan. Hal ini menjadi urgensi agar PT Krakatau Posco dapat melakukan dekarbonisasi segera mengingat juga telah ada rencana pengembangan kapasitas hingga dua kali lipat yang secara perhitungan juga mengeluarkan emisi CO₂ dengan kelipatan yang sama.

4.2 Analisis Hasil Kuesioner

Dekarbonisasi berperan penting dalam menciptakan pembangunan yang bersih dan berkelanjutan. Upaya ini tidak hanya menurunkan emisi gas rumah kaca, tetapi juga mengurangi polusi udara sehingga menurunkan risiko penyakit pernapasan seperti ISPA dan asma. Secara lingkungan, langkah ini akan membantu menjaga ekosistem, menekan laju pemanasan global, dan melestarikan sumber daya alam untuk generasi mendatang. Sementara dari sisi sosial, dekarbonisasi meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui udara yang lebih bersih, menciptakan lapangan kerja hijau, serta memperkuat kesadaran dan keadilan dalam transisi menuju masa depan rendah karbon.

Untuk mengetahui keterkaitan tersebut, maka tim riset AEER melakukan kuesioner dan analisis statistika untuk menggambarkan kondisi sosial, kesehatan, dan lingkungan masyarakat Kelurahan Tegal Ratu yang menjadi wilayah terdekat dengan kawasan industri baja, PT Krakatau Posco. Hasil ini juga memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dampak keberadaan industri baja terhadap masyarakat.

Dari total 100 kuesioner yang disebarakan kepada warga Kelurahan Tegal Ratu, hanya 94 responden yang mengisi kuesioner yang selanjutnya digunakan sebagai sampel.



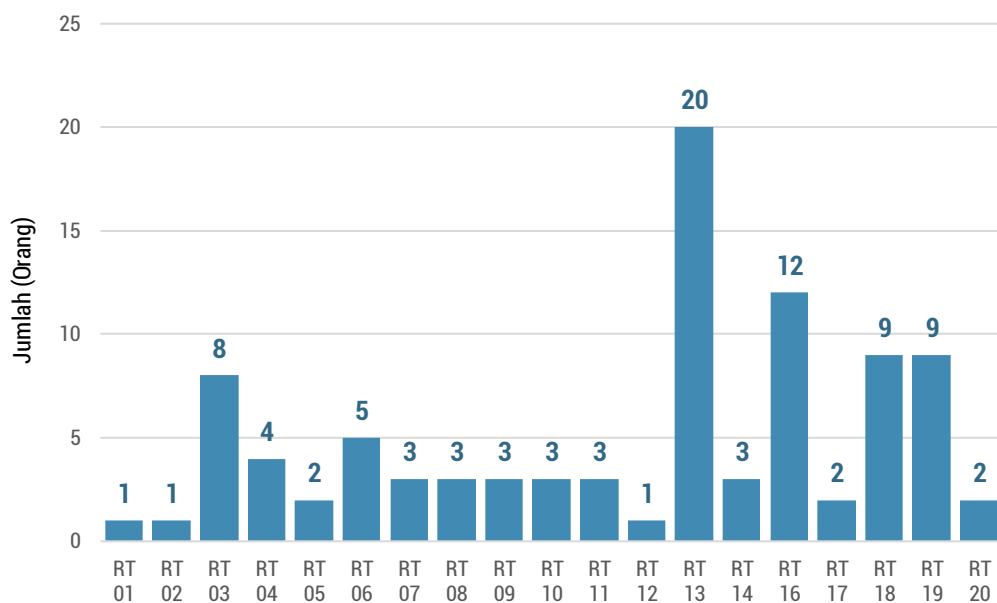
Gambar 22. Forum Warga Kelurahan Tegal Ratu dan Pengisian Kuesioner
(Sumber: AEER, 2025)

Sebaran Responden Berdasarkan RT

Dari total 22 RT yang ada di Kelurahan Tegal Ratu, tidak ada perwakilan dari RT 15, 21, dan 22. Adapun RT yang terwakili dalam penelitian ini meliputi:

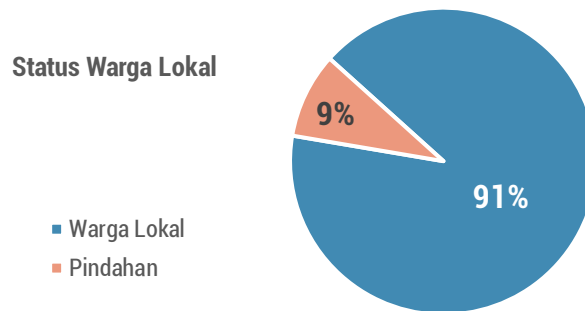
- RW 01: RT 01, RT 02, RT 03
- RW 02: RT 04, RT 05, RT 06
- RW 03: RT 07, RT 08, RT 17
- RW 04: RT 09, RT 20
- RW 05: RT 10, RT 11, RT 18
- RW 06: RT 12, RT 13
- RW 07: RT 14, RT 16, RT 19

Berdasarkan lokasinya, RT yang terdekat dengan PT Krakatau Posco adalah RT 01, 02, 03, 14, 16, dan 19. Berdasarkan data sebaran, responden untuk RT 01 dan RT 02 masing-masing berjumlah 1 orang, RT 03 berjumlah 8 orang, RT 14 berjumlah 3 orang, RT 16 berjumlah 12 orang dan RT 19 berjumlah 9 orang.



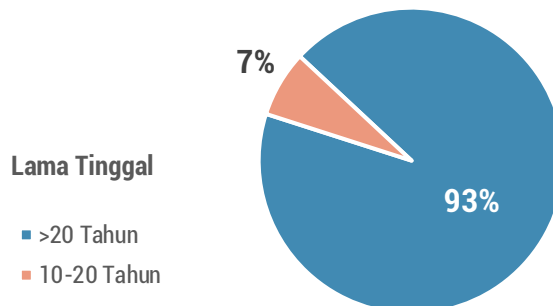
Status Warga Lokal

Berdasarkan hasil kuesioner, mayoritas responden merupakan warga lokal yang lahir dan menetap di Kelurahan Tegal Ratu, yaitu sebanyak 86 orang (91%). Sementara itu, terdapat 8 responden (9%) yang merupakan warga pindahan atau pendatang.



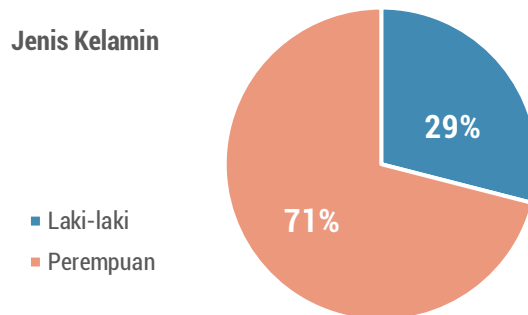
Lama Tinggal

Berdasarkan hasil kuesioner, sebagian besar responden telah tinggal di Kelurahan Tegal Ratu selama lebih dari 20 tahun, yaitu sebanyak 87 orang (93%). Sisanya 7 responden (7%) telah tinggal antara 10–20 tahun. Tidak terdapat responden yang tinggal kurang dari 10 tahun. Kondisi ini menunjukkan bahwa mayoritas responden sudah lama menetap di wilayah riset, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai kondisi lingkungan yang dirasakan selama tinggal di dekat kawasan industri baja.



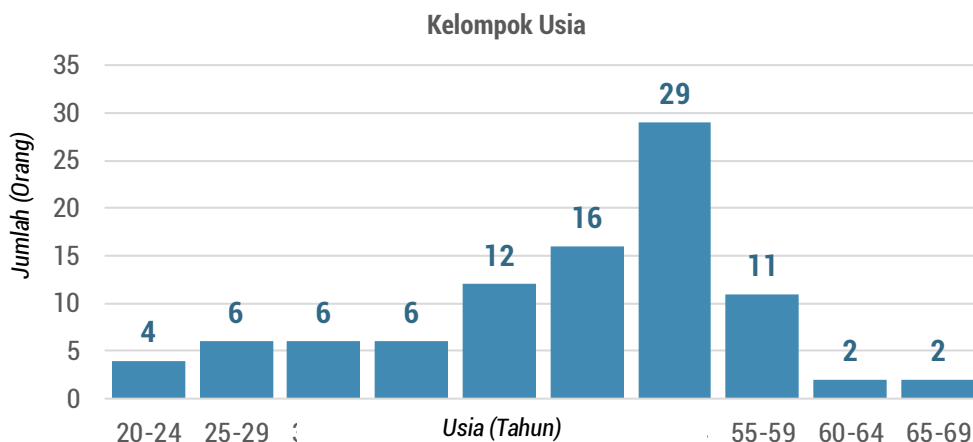
Jenis Kelamin

Responden dalam penelitian ini didominasi oleh perempuan sebanyak 67 orang (71%), sedangkan laki-laki berjumlah 27 orang (29%). Proporsi ini menunjukkan bahwa keterlibatan responden perempuan lebih besar dibandingkan laki-laki dalam pengisian kuesioner.

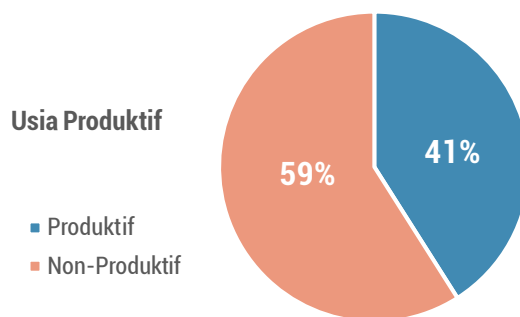


Usia

Responden dalam penelitian ini memiliki rentang usia yang cukup beragam, mulai dari 20 hingga 69 tahun. Kelompok usia terbanyak adalah 50–54 tahun dengan jumlah 29 orang. Selanjutnya, kelompok usia 45–49 tahun berjumlah 16 orang, diikuti 40–44 tahun sebanyak 12 orang, dan 55–59 tahun sebanyak 11 orang. Responden dengan usia lebih muda tercatat relatif sedikit, misalnya kelompok usia 20–24 tahun berjumlah 4 orang.



Jika dikelompokkan berdasarkan kategori usia produktif (20–45 tahun) dan non-produktif (46–65 tahun), terlihat bahwa mayoritas responden berada pada kelompok non-produktif sebanyak 55 orang (59%), sedangkan kelompok produktif sebanyak 39 orang (41%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden berada pada usia non-produktif.



Pekerjaan

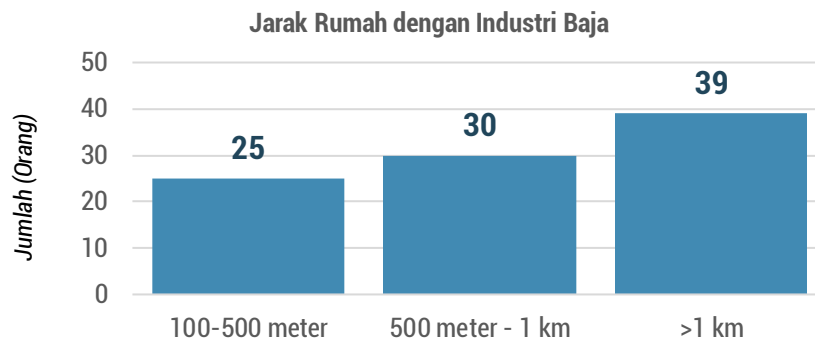
Pekerjaan responden dalam riset ini bermacam-macam, mulai dari Ibu Rumah Tangga (IRT), Pegawai Negeri Sipil (PNS), mahasiswa hingga karyawan swasta. Pekerjaan responden paling banyak adalah IRT dengan persentase sebesar 46,5%, sedangkan pekerjaan responden paling sedikit adalah pedagang dan pensiunan yang masing-masing hanya sebesar 1,0%.

Banyaknya responden yang berprofesi sebagai ibu rumah tangga sejalan dengan karakteristik jenis kelamin responden yang mayoritas adalah perempuan. Namun, terdapat 5 responden (5,1%) yang tidak mengisi bagian pekerjaan pada kuesioner.

No	Pekerjaan	Jumlah Responden	Persentase (%)
1	Ibu Rumah Tangga	46	46,5
2	Kader	11	11,1
3	Buruh	7	7,1
4	Wiraswasta	7	7,1
5	Guru	4	4,0
6	Karyawan Swasta	3	3,0
7	Mahasiswa	3	3,0
8	PNS	2	2,0
9	Pengangguran	2	2,0
10	Serabutan	2	2,0
11	Pensiun	1	1,0
12	Pedagang	1	1,0
13	Tidak Diisi	5	5,1

Jarak Rumah

Berdasarkan grafik jarak rumah, diketahui 25 responden (27%) tinggal pada jarak 100–500 meter dari industri baja, 30 responden (32%) tinggal pada jarak 500 meter hingga 1 km, dan 39 responden (41%) tinggal lebih dari 1 km. Berdasarkan jarak rumah dan data sebaran RT, RT yang terdekat dengan PT Krakatau Posco adalah RT 01, 02, 03 yang berada di RW 01 serta RT 14, 16, 19 yang berada di RW 07.



Dalam dokumen AMDAL PT Krakatau Posco disebutkan bahwa dampak kualitas udara dapat dirasakan hingga radius 500 meter dari pabrik, sedangkan dampak sosial dipertimbangkan sampai radius ± 1 km. Hal ini berarti responden yang tinggal pada jarak 100–500 meter dan 500 meter–1 km termasuk ke dalam kelompok masyarakat yang berpotensi merasakan dampak langsung dari aktivitas industri, baik berupa polusi udara maupun pencemaran lainnya.

Sisanya 41% berada lebih dari 1 km dari pabrik. Kelompok terakhir ini relatif lebih aman, meskipun tidak menutup kemungkinan tetap merasakan dampak tidak langsung adanya industri baja.

4.2.1 Kesehatan Warga

Analisis kesehatan masyarakat Kelurahan Tegal Ratu difokuskan pada kondisi pernapasan, khususnya kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) yang berpotensi dipengaruhi oleh aktivitas industri baja. Hasil dari kuesioner kemudian dibandingkan dengan data sekunder dari BPS Kota Cilegon dan Puskesmas Ciwandan agar memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai kondisi kesehatan masyarakat di sekitar kawasan industri.

Keluhan Gangguan Kesehatan

No	Gejala	Jumlah Responden
1	Batuk / Flu / Pilek	78
2	Gatal-gatal / Alergi Kulit	41
3	Demam	30
4	Sesak Nafas	11
5	Sakit Kepala / Pusing	4
6	Pendengaran Berkurang	1
7	Tidak Pernah Sakit	1

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa hampir seluruh responden pernah mengalami keluhan kesehatan dalam setahun terakhir. Keluhan yang paling banyak dirasakan adalah batuk/flu/pilek dengan jumlah 78 orang, diikuti oleh gatal-gatal atau alergi kulit sebanyak 41 orang, serta demam sebanyak 30 orang. Selain itu, terdapat keluhan sesak napas (11 orang), sakit kepala/pusing (4 orang), dan gangguan pendengaran (1 orang).

Jika dilihat dari frekuensinya, sebagian besar responden mengalami sakit dengan durasi singkat, yaitu antara 3–7 hari atau sekitar 1 minggu. Namun, ada juga yang melaporkan sakit lebih lama, seperti 2 minggu hingga 1 bulan, bahkan beberapa responden menyebutkan mengalami keluhan berulang setiap bulan atau hampir setiap hari. Responden menyoroti gangguan kesehatan tersebut muncul dikaitkan dengan penurunan kualitas udara akibat banyaknya industri yang berdiri di kawasan Kelurahan Tegal Ratu.

Demam, batuk, flu/pilek, sesak napas dan sakit tenggorokan bisa menjadi gejala dan indikator awal adanya gangguan pernapasan yang berhubungan dengan ISPA. Umumnya, gejala ini muncul 3 hari setelah paparan dan bertahan antara 7-10 hari ([Kemenkes, 2023](#)). Hasil kuesioner ini masih bersifat subjektif responden. Untuk hasil lebih akurat, maka diperlukan tes medis lebih lanjut seperti tes darah untuk memastikan apakah responden yang mengalami keluhan-keluhan kesehatan tersebut positif mengidap ISPA.

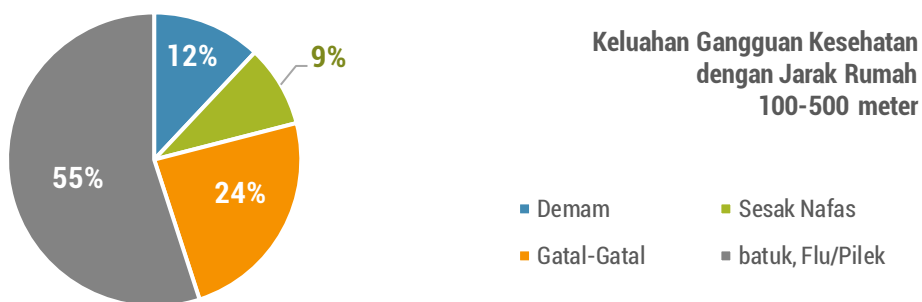
"Saya sering batuk, pilek, gatal-gatal. Keluarga apalagi anak-anak itu paling sering radang (tenggorokan). Menurut saya karena kualitas udara (berubah). Sakitnya itu seminggu-2 minggu, berhenti datang lagi," ucap ibu S warga RT 16.

Hasil kuesioner perihal gangguan kesehatan juga pernah dilakukan oleh PT Krakatau Posco pada tahun 2024, dengan jumlah 140 responden di Kelurahan Kubang Sari dan Tegal Ratu, Kecamatan Ciwandan. Kecamatan Citangkil meliputi Kelurahan Samang Raya terdiri dari 60 narasumber. Berdasarkan dokumen AMDAL, masyarakat mengaku mengalami masalah kesehatan selama kegiatan operasional pabrik.

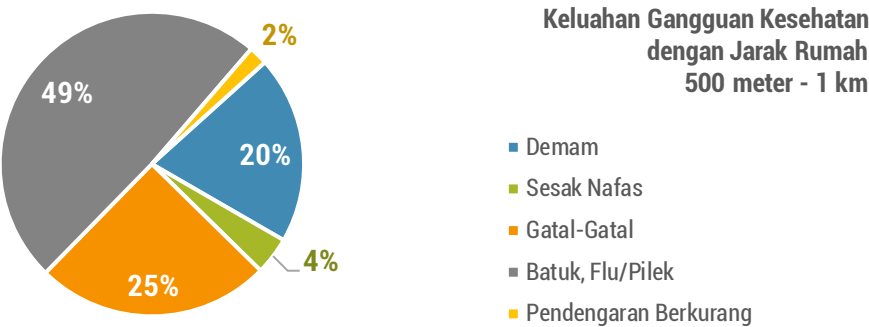
- 94 orang (95,92 %) mengalami gangguan kenyamanan dan kesehatan
- 43 orang (43,43%) menyatakan gangguan pernafasan
- 25 orang (25,25%) menyatakan sesak nafas
- 8 orang (8,08%) menyatakan gangguan kebisingan
- 23 orang (23,23 %) menyatakan batuk, mual, pegal-pegal, sakit mata, dll.

Jarak Rumah ke Pabrik dan Gangguan Kesehatan

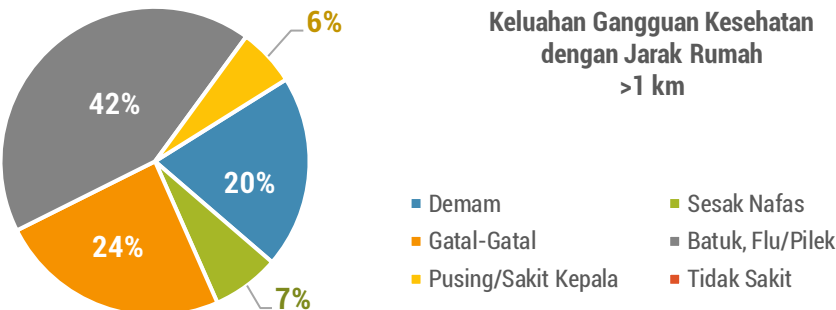
Pada kelompok responden yang tinggal pada jarak 100–500 meter dari pabrik (25 orang), keluhan kesehatan yang paling banyak dialami adalah batuk/flu/pilek dengan jumlah 23 orang (55%). Selain itu, 10 orang (24%) mengeluhkan gatal-gatal atau alergi kulit, 5 orang (12%) mengalami demam, dan 4 orang (9%) melaporkan sesak napas.



Pada kelompok yang tinggal 500 meter–1 km dari pabrik, keluhan kesehatan yang paling banyak dilaporkan adalah batuk/flu/pilek sebanyak 24 responden (49%). Selain itu, terdapat 12 responden (25%) yang mengalami gatal-gatal/alergi kulit, 10 responden (20%) yang mengalami demam, 2 responden (4%) melaporkan sesak napas, dan 1 responden (2%) mengaku mengalami penurunan pendengaran.



Pada kelompok responden yang tinggal lebih dari 1 km dari pabrik, keluhan kesehatan tetap banyak ditemukan. Batuk/flu/pilek dilaporkan oleh 31 responden (42%), diikuti 18 responden (24%) dengan gatal-gatal/alergi kulit, 15 responden (20%) dengan demam, serta 5 responden (7%) dengan sesak napas. Menariknya, terdapat tambahan keluhan berupa pusing/sakit kepala pada 4 responden (6%) dan 1 responden (1%) yang menyatakan tidak pernah mengalami sakit.



Pola Berobat

No	Tempat Berobat	Jumlah Responden	Persentase (%)
1	Puskesmas / RS / Klinik	73	78
2	Apotek / Warung	16	17
3	Tidak Berobat	5	5

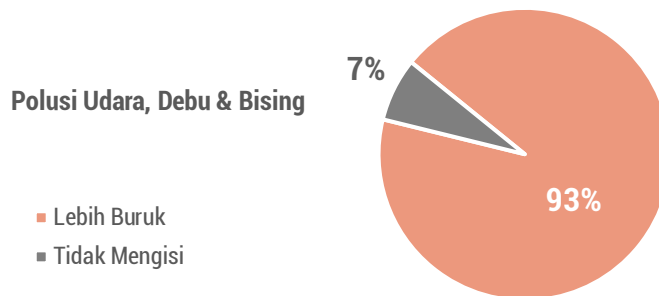
Mayoritas responden yaitu 73 orang (78%) memilih untuk berobat ke fasilitas kesehatan formal seperti puskesmas, rumah sakit, atau klinik ketika mengalami keluhan kesehatan. Sementara itu, terdapat 21 responden (22%) yang tidak langsung berobat ke fasilitas kesehatan formal dengan alasan cukup beragam, antara lain lokasi puskesmas dianggap jauh dan antrean pelayanan yang lama (paling banyak disebutkan), keterbatasan biaya, penyakit dirasakan tidak parah, hingga pengalaman sebelumnya yang dinilai kurang efektif.



4.2.2 Dampak Lingkungan

Polusi Udara, Debu dan Bising

Sebanyak 93% responden menyatakan merasakan adanya polusi udara, dan menilai kualitas udara saat ini lebih buruk dibandingkan sebelum adanya pabrik.



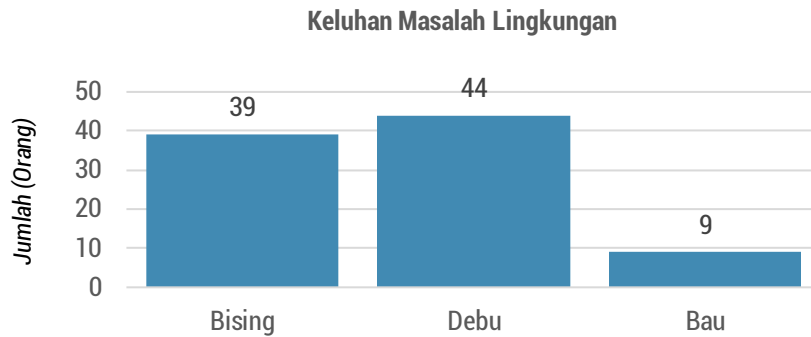
Keluhan yang paling sering disampaikan mencakup udara tercemar, suhu semakin panas, debu berterbangan, bau menyengat, serta asap yang mengganggu pernapasan. Responden juga menyoroti gangguan kesehatan yang muncul, seperti batuk, flu, gatal pada kulit yang dikaitkan dengan penurunan kualitas udara.

"Dulu sebelum ada pabrik-pabrik dan banyak industri, masih rimbun banyak sawah, gak ada bising, gak ada polusi udara yang buruk. Sekarang jadi tambah gersang," ucap A selaku ketua RW.

"Dulu tahun 1985 saya masih bisa lari jalan kaki ke Anyer, masih sepi mobilnya. Udaranya masih bagus," lanjut U ketua RT yang sudah tinggal di Kelurahan Tegal Ratu lebih dari 20 tahun.

"Dulu daerah sini itu persawahan kanan-kiri. Enak, adem gitu. Sekarang udaranya sudah beda. Gara-gara debu, saya sering batuk sakit tenggorokan. Karena rumah saya dekat dengan Posco yang pembakarannya pakai batubara," ujar Ketua LPM.

Grafik di bawah ini memperlihatkan bahwa gangguan lingkungan yang dirasakan warga Tegal Ratu adalah debu, bau dan kebisingan dari aktivitas pabrik. Dari keterangan detail responden, mereka mengeluhkan bau menyengat dirasakan sebagai dampak dari limbah cair.



Selain itu, warga juga mengeluhkan debu hitam dan asap hitam berterbangan dari cerobong pabrik yang kemudian menempel di sekitar rumah. Bahkan ada yang menggambarkan fenomena hujan debu batu bara, debu besi/baja dan debu berbentuk kristal.

"Saya sebagai ibu rumah tangga, sangat terdampak dengan debu. Kalau disapu, kotor lagi kotor lagi. Kalau ngikutin nyapu lagi nyapu lagi, pasti ada (debu). Tahun 2025 ini sudah 2 kali (keluhan debu dan bising). Bulan Maret sama kemarin (Juli)," ucap ibu A sambil menunjukkan bukti foto paparan debu hitam masuk ke halaman rumah.



Gambar 24. Polusi Udara Berupa Debu Hitam yang Berterbangan ke Rumah Warga
(Sumber: Facebook)

Ketua RT Kelurahan Tegal Ratu juga menyebut secangkir kopi yang ditaruh di halaman depan rumah pun sampai terkena cipratan debu dari industri. *"Debunya itu masuk ke rumah, sering disapu. Kalau minum kopi di luar tidak tertutup, bahaya. Kalau jemur baju juga banyak kerlap-kerlip debu,"* ucapnya.

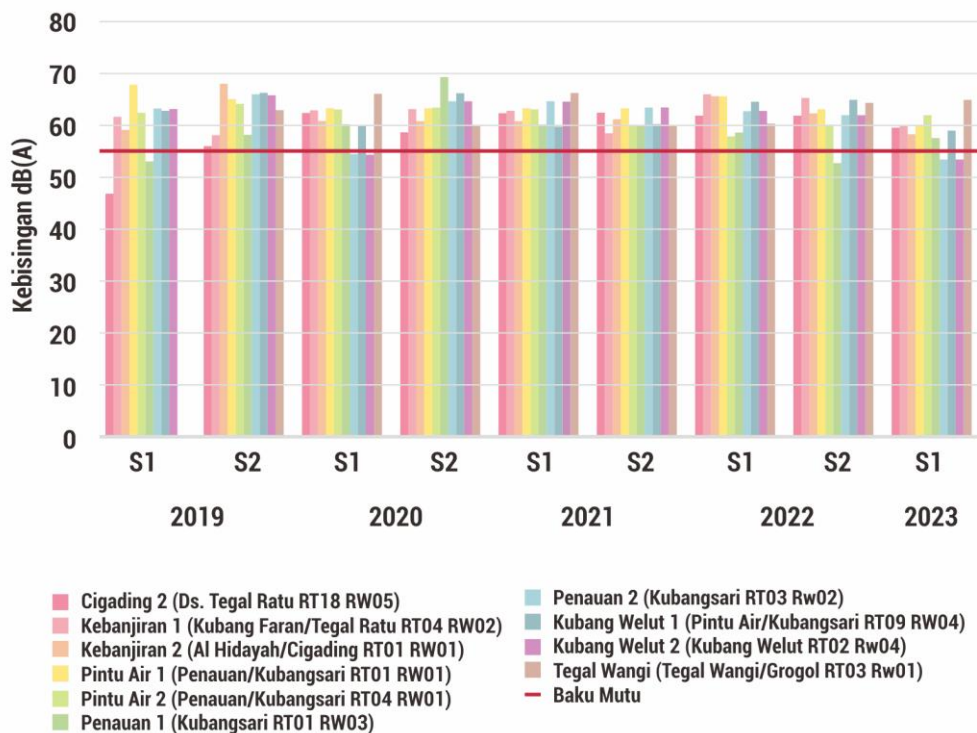


Gambar 25. Penampakan asap pabrik PT Krakatau Posco dari depan rumah warga (atas) dan lewat video drone (bawah).
(Sumber: AEER, 2025)

Sementara itu kebisingan dilaporkan berasal dari suara pabrik yang keras, terutama pada malam hari, hingga menimbulkan getaran pada pintu dan jendela rumah. Akibat kebisingan itu, responden mengaku tidak nyenyak tidur, apalagi jika di rumah ada bayi atau anak-anak. Dari hasil kuesioner di atas juga ada 1 responden yang mengeluh indera pendengarannya berkurang.

"Setelah Posco dibangun, jelas dampaknya luar biasa. Warga sering ngeluh ke RT. Di sini kan banyak anak kecil, jelas sangat terganggu. Itu kalau nyala, bunyinya kencang sekali, apalagi dekat sama RT 14. Asap apinya juga kelihatan dari mushola (depan rumah). Pejabat Posco enak tidur malam, kita warga gak bisa tidur sampai subuh. Coba sekali-kali pejabat Posco duduk sini sambil minum kopi biar tahu persis. Itu kelihatan sekali pas cerobongnya lagi nyala, bunyinya kencang sekali," ungkap Ketua RT.

Berdasarkan data AMDAL PT Krakatau Posco yang dilakukan di Kelurahan Tegal Ratu menunjukkan tingkat kebisingan melebihi nilai baku mutu. Mengacu pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996, Lampiran I Tentang Baku Tingkat Kebisingan yang diperuntukkan untuk kegiatan industri, yaitu 70 dB(A) dan untuk kegiatan pemukiman, yaitu 55 dB(A).



Gambar 26. Tingkat Kebisingan di Permukiman

(Sumber: PT Krakatau Posco, 2025)

Dalam dokumen AMDAL PT Krakatau Posco, perusahaan menyatakan sudah melakukan pengendalian debu dan kebisingan dengan uji emisi kendaraan, menutup bak angkutan dengan terpal, dan membangun *buffer zone* atau zona pembatas industri dengan pemukiman, memberikan pemberitahuan jika akan melakukan Sistem Pembuangan (*Exhaust*), hingga mekanisme penyampaian keluhan mengenai lingkungan. Namun, kenyataan di lapangan berbeda.

A selaku Ketua RW mengaku sering melakukan pengaduan kepada pihak PT Krakatau Posco mewakili suara warga, namun tak pernah ditanggapi. Ia juga menyebut notifikasi yang dilakukan oleh PT Krakatau Posco seringkali mendadak, dan bahkan tidak memberikan pemberitahuan sama sekali terkait kebisingan yang ditimbulkan.

"Kemarin pas cerobong keluarin asap, baru suratnya muncul, katanya (pihak Posco) lupa nge-share. Komplainnya itu biasa lewat grup WA, dari pihak RT, Kelurahan sampai Kecamatan, tapi follow up-nya gak ada."

Lanjut A, ketika dirinya menghubungi anggota DPRD, baru pihak PT Krakatau Posco menindak lanjuti komplainan warga. *"Paling kalau udah ditegur anggota dewan, baru ada perubahan dikecilin gitu (volume suara cerobong). Gak kencang kayak di awal."*

Dengan demikian, meskipun klaim dalam AMDAL sudah lengkap di atas kertas, pelaksanaannya di lapangan belum sesuai harapan warga. Hal ini menunjukkan perlunya peningkatan transparansi, pengawasan, serta keterlibatan masyarakat dalam setiap program perusahaan.

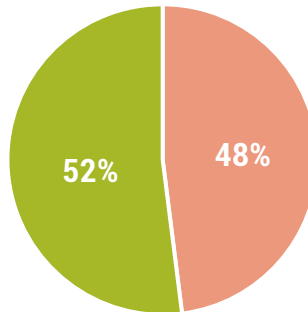


Pencemaran Air

Sebanyak 45 responden (48%) menyatakan sumber air di sekitar rumah mereka pernah tercemar, sedangkan 49 responden (52%) menyatakan tidak pernah mengalami pencemaran. Hal ini memperlihatkan bahwa isu pencemaran air memang ada dan cukup dirasakan hampir separuh responden, meskipun tidak dialami secara merata oleh seluruh warga.

Pencemaran Air

■ Tercemar
■ Tidak Tercemar

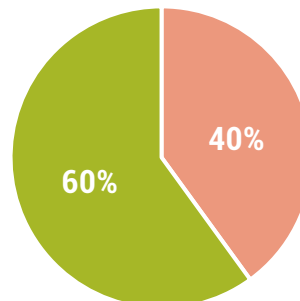


Pencemaran Limbah

Berdasarkan hasil kuesioner, sebanyak 38 responden (40%) menyatakan pernah melihat limbah pabrik di lingkungan sekitar, sedangkan 56 responden (60%) menyatakan tidak pernah mengalir ke lingkungan sekitar. Jenis limbah yang paling sering disebut adalah limbah cair berbau menyengat yang mengalir ke saluran air, bahkan ada yang menyebut pembuangan toilet pabrik mengalir ke rumah warga. Beberapa responden juga menggambarkan bentuk limbah lain, seperti kristal, serpihan kaca seperti pasir, hingga limbah B3.

Pencemaran Limbah

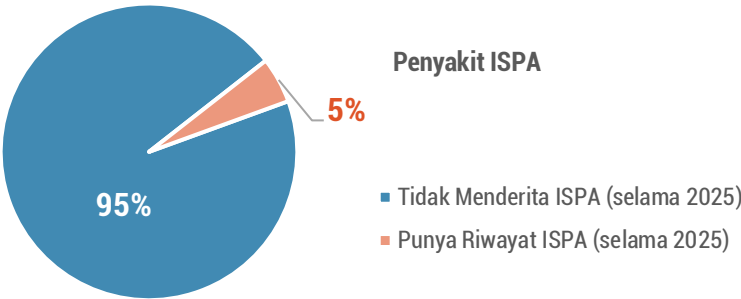
■ Tercemar
■ Tidak Tercemar



Menurut Ketua RW, pihak DLH dari Provinsi Banten maupun Kota Cilegon tidak pernah mengecek ke Kelurahan Tegal Ratu soal kondisi pencemaran akibat industri baja. *"Gak ada, gak ada,"* singkatnya.

4.2.3 Kasus ISPA

Di Kecamatan Ciwandan Kota Cilegon, ISPA menempati urutan teratas dari sepuluh penyakit terbanyak tiap tahunnya (BPS Kota Cilegon, 2025).



Berdasarkan hasil riset AEER, sebagian besar responden 89 orang (95%) tidak punya riwayat menderita ISPA. Sementara itu, hanya 5 responden (5%) yang tercatat pernah mengalami ISPA selama tahun 2025, termasuk 1 kasus pneumonia. Hal ini mengindikasikan bahwa walaupun banyak responden melaporkan gejala pernapasan seperti batuk, flu/pilek, atau demam, tetapi hanya sebagian kecil yang benar-benar memiliki riwayat penyakit ISPA.

Tabel 7. Data ISPA di Kelurahan Tegal Ratu Tahun 2023-2025

Bulan	Tahun		
	2023	2024	2025
Januari	78	63	98
Februari	69	85	120
Maret	53	78	39
April	22	53	34
Mei	40	80	51
Juni	53	54	72
Juli	59	78	132
Agustus	78	126	153
September	65	126	-
Oktober	54	84	-
November	56	120	-
Desember	38	118	-
Total	665	1065	699

(Sumber: Puskesmas Ciwandan, 2025)

Tabel 8. Kasus ISPA di Kelurahan Tegal Ratu Data Puskesmas vs Hasil Kuesioner 2025

Wilayah	Kasus ISPA (data puskesmas)	Kasus ISPA (hasil kuesioner)	Prevalensi (%)
Kelurahan Tegal Ratu	699 (per Agustus)	5	0,71

Pada tahun 2025, kasus ISPA di Kelurahan Tegal Ratu mencapai 699 orang hingga bulan Agustus, dimana dalam dua bulan terakhir Juni-Juli 2025 kasus ISPA nya mencapai titik terbanyak. Sementara itu, hasil kuesioner AEER yang dilakukan pada September 2025 kasus ISPA hanya 5 orang.

Prevalensi kasus ISPA di Kelurahan Tegal Ratu dengan membandingkan data Puskesmas Ciwandan dan hasil kuesioner AEER adalah 0,71%. Rendahnya angka ini lantaran kasus ISPA di Kelurahan Tegal Ratu 70% diantaranya merupakan anak-anak, seperti yang diungkapkan Kepala Puskesmas Ciwandan, dr Arief Dharma Hartana. Sementara responden kuesioner untuk riset merupakan orang dewasa dengan usia di atas 20 tahun.

Menurut WHO (2020), ISPA adalah salah satu penyebab utama kematian (mortalitas) di dunia, terutama pada anak-anak. Angka kematian pada ISPA mencapai 4,25 juta setiap tahun di dunia. Pada tahun 2020 terdapat 1.988 kasus balita mengalami ISPA.

Indonesia menjadi salah satu negara berkembang dengan kasus ISPA tertinggi. Kementerian Kesehatan RI menyebut, balita kisaran usia 6-23 bulan paling rentan terserang ISPA. Menurut laporan Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 dari Kemenkes RI, prevalensi ISPA pada balita Indonesia yang didiagnosis dokter sebesar 4,8%. Provinsi Banten menjadi provinsi terbanyak ke-4 dengan kasus ISPA pada anak-anak mencapai 8,7%.



Gambar 27. Daftar provinsi di Indonesia dengan prevalensi ISPA terbanyak pada balita
(Sumber: Kemenkes RI, 2023)

Tabel 9. Data Resmi Kasus ISPA di Kelurahan Tegal Ratu dan Kecamatan Ciwandan Tahun 2023-2025

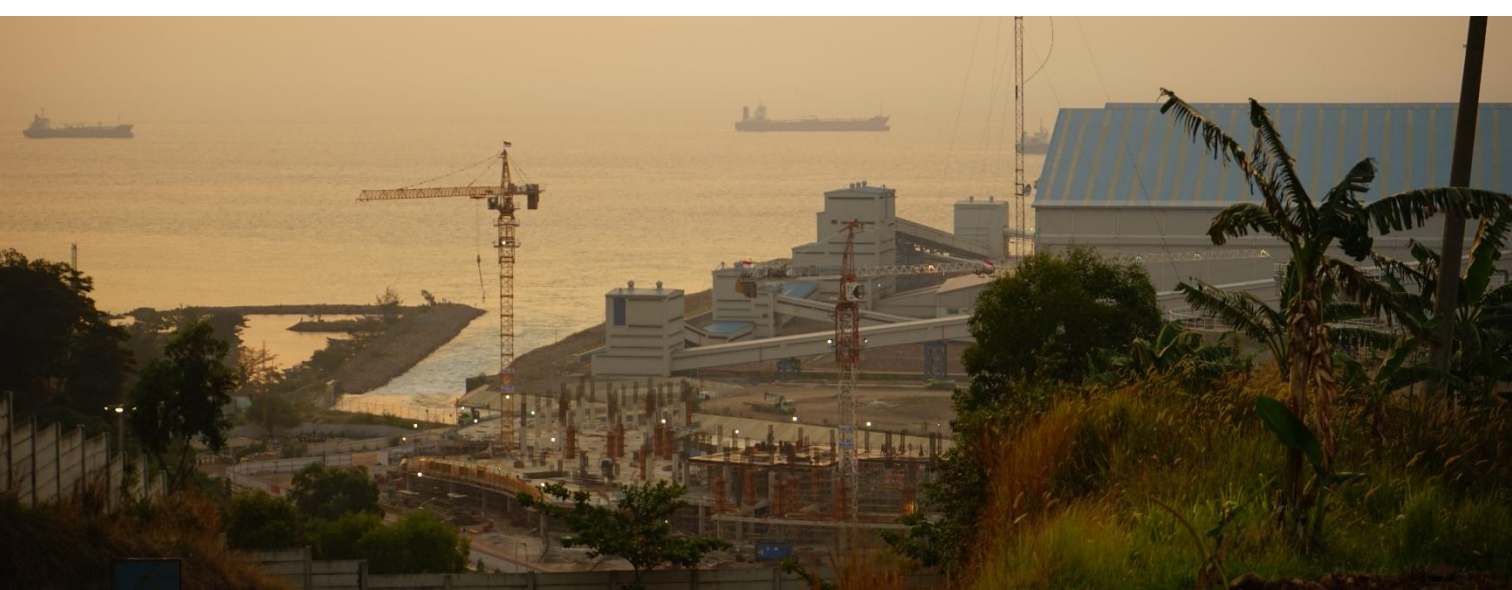
Wilayah	Tahun	Jumlah penduduk (jiwa)	Kasus ISPA	Prevalensi (%)	Kontribusi (%)
Kecamatan Ciwandan	2023	53.574	6.514	12,16	100,00
Kelurahan Tegal Ratu	2023	11.755	665	5,66	10,21
Kecamatan Ciwandan	2024	54.606	5.091	9,32	100,00
Kelurahan Tegal Ratu	2024	11.987	1.065	8,88	20,92
Kelurahan Tegal Ratu	2025		699 (per Agustus)		

(Sumber: BPS Kota Cilegon dan Puskesmas Ciwandan)

Tabel di atas menunjukkan bahwa kasus ISPA di Kecamatan Ciwandan pada tahun 2023 sebanyak 6514 kasus dan menurun pada tahun 2024 menjadi 5091 kasus. Sementara di Kelurahan Tegal Ratu meningkat dari 665 kasus tahun 2023 menjadi 1065 kasus tahun 2024. Pada tahun 2025, kasus ISPA di Kelurahan Tegal Ratu menurun dengan hanya 699 kasus, meskipun data yang dikeluarkan baru sampai Agustus 2025.

Prevalensi ISPA tahun 2023 di Kecamatan Ciwandan sebesar 12,16%, lebih tinggi dibandingkan di Kelurahan Tegal Ratu yang hanya 5,66%. Pada tahun 2024, prevalensi ISPA di Kecamatan Ciwandan tercatat 9,32%, sementara di Kelurahan Tegal Ratu sebesar 8,88%.

Meskipun prevalensi di Tegal Ratu relatif lebih rendah, wilayah ini tetap menyumbang sekitar 10,21% kasus ISPA di Kecamatan Ciwandan pada tahun 2023, dan meningkat menjadi 20,9% pada tahun 2024.



Hubungan Gangguan Kesehatan dan ISPA

Karakteristik Responden	ISPA		Tidak ISPA		P. value Fisher's Exact Test	Odds Ratio (CI 95%)	Keterangan
	(N)	(%)	(N)	(%)			
Batu/ Flu / Pilek	3	3,8	75	92,6	0,650	2,21 (0,35-13,89)	Tidak Signifikan
Demam	4	13,3	26	86,7	0,018	9,69 (1,03-90,9)	Signifikan
Gatal-gatal / Alergi Kulit	3	7,3	38	92,7	0,448	2,01 (0,32-12,65)	Tidak Signifikan
Sesak Nafas	1	9,1	10	90,9	0,553	1,98 (0,20-19,46)	Tidak Signifikan
Sakit Kepala / Pusing	0	0	4	100,0	1,000	--	Tidak Signifikan
Pendengaran Berkurang	0	0	1	100,0	0,812		Tidak Signifikan

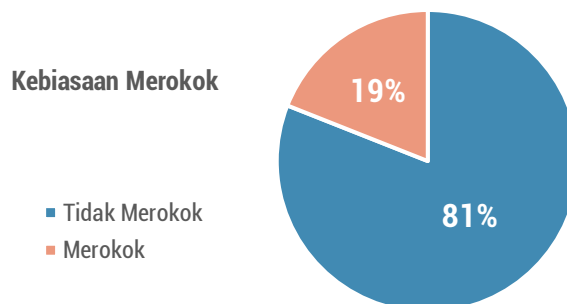
Dari berbagai gejala kesehatan yang dilaporkan responden, hanya demam yang berhubungan signifikan dengan kejadian ISPA. Responden dengan keluhan demam memiliki risiko sekitar 9,7 kali lebih besar untuk mengalami ISPA dibandingkan dengan yang tidak mengalami demam, karena nilai OR menunjukkan 1,03. Nilai OR lebih dari 1 menunjukkan peningkatan peluang risiko kejadian, sedangkan nilai kurang dari 1 menunjukkan penurunan peluang (efek protektif), dan nilai sama dengan 1 berarti tidak ada hubungan antara paparan dan kejadian.

Sementara itu, gejala lain seperti batuk/flu/pilek, sesak napas, gatal-gatal/alergi kulit, sakit kepala/pusing, pendengaran berkurang, dan hipertensi tidak terbukti berhubungan signifikan dengan ISPA.

Kebiasaan Merokok

Responden yang Merokok

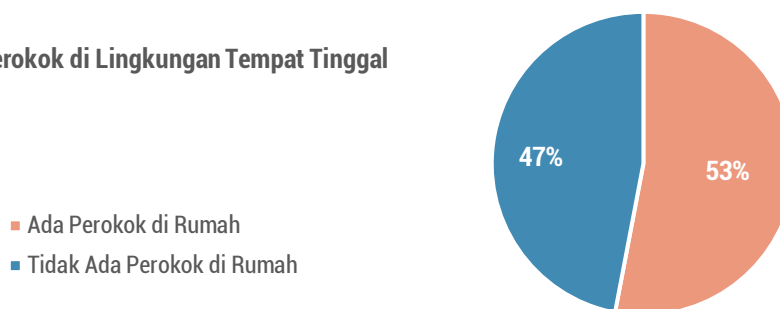
Hasil kuesioner menunjukkan sebagian besar responden (76 orang) tidak memiliki kebiasaan merokok. Sementara itu 18 responden (19%) lainnya mengaku masih merokok. Dari 18 responden tersebut, 2 orang adalah perempuan dan sisanya laki-laki. Keberadaan 19% responden yang masih merokok tetap perlu diperhatikan karena dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan, khususnya penyakit pernapasan seperti ISPA.



Perokok di Lingkungan Rumah Tangga

Hasil kuesioner menunjukkan 50 responden (53%) tinggal dalam rumah yang memiliki anggota keluarga perokok, sedangkan 44 responden (47%) menyatakan tidak ada perokok di rumah mereka. Dari keterangan yang diberikan, anggota keluarga yang paling banyak disebut sebagai perokok adalah suami, disusul oleh anak, ayah hingga kakak dan adik. Hal ini mengindikasikan adanya keterkaitan perilaku merokok antar anggota keluarga, di mana kebiasaan merokok satu orang cenderung memengaruhi lingkungan rumah tangga. Akibatnya, anggota keluarga lain ikut terpapar asap rokok yang berpotensi meningkatkan risiko gangguan pernapasan seperti ISPA, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia.

Perokok di Lingkungan Tempat Tinggal



Analisis Statistik Hubungan antar Variabel dengan Kasus ISPA

Analisis hubungan antar variabel dengan kasus ISPA dilakukan menggunakan Fisher's Exact Test. Uji ini dipilih karena jumlah kasus ISPA dalam sampel penelitian sangat kecil (hanya 5 orang dari 94 responden) sehingga banyak sel pada tabel kontingensi memiliki nilai frekuensi harapan (*expected count*) kurang dari 5. Kondisi ini membuat uji *Chi-Square* menjadi kurang valid. Oleh karena itu, *Fisher's Exact Test* digunakan sebagai alternatif yang lebih tepat untuk tabel 2x2 dengan data kecil.

Selain itu, pada uji hubungan ini menggunakan hipotesis H_0 dan H_1 , dimana H_0 tidak terdapat hubungan antara variabel X dengan kasus ISPA dan H_1 terdapat hubungan antara variabel X dengan kasus ISPA. Tingkat kesalahan tipe I (α error) yang digunakan adalah 5% atau 0,05. Jika $p\text{-value} > 0,05$ maka hasil dianggap tidak signifikan secara statistik. Semua hasil analisis statistik hubungan antar variabel dengan kasus ISPA dalam penelitian ini adalah tidak signifikan. Hal ini karena jumlah kasus ISPA dalam sampel terlalu kecil atau sedikit.

Hubungan Merokok dan ISPA

Karakteristik Responden	ISPA		Tidak ISPA		P. value Fisher's Exact Test	Odds Ratio (CI 95%)	Keterangan
Kebiasaan Merokok	(N)	(%)	(N)	(%)			
Ada	1	1,1	17	18,1	1,00	1,05 (0,11-10,22)	Tidak Signifikan
Tidak	4	4,2	72	76,6			
Total	5	5,3	89	94,7			

Hasil *Fisher's Exact Test* menunjukkan tidak terdapat hubungan yang signifikan antara kebiasaan merokok dengan kejadian ISPA pada sampel penelitian ini. *Odds Ratio* (OR) sebesar 1,05 dengan interval kepercayaan 95% (0,11–10,22) menunjukkan peluang terjadinya ISPA hampir sama pada responden perokok maupun bukan perokok. Hasil yang sama juga terdapat pada penelitian Rahmaningsih (2022) yang menunjukkan tidak ada hubungan signifikan antara status merokok dengan gangguan fungsi paru.

Sementara itu Pope, et al (2002) menyebut rokok mengandung asupan PM_{2,5} sebesar 12 mg untuk setiap batang rokoknya, sehingga jumlah asupan PM_{2,5} pada orang dewasa yang merokok lebih besar daripada yang tidak merokok. Swiatkowska, et al (2015) memaparkan penurunan fungsi paru dapat terjadi apabila mengonsumsi rokok dengan rata-rata 20 batang per hari.

Keberadaan Anggota Keluarga yang Merokok di Rumah dan ISPA

Karakteristik Responden	ISPA		Tidak ISPA		P. value Fisher's Exact Test	Odds Ratio (CI 95%)	Keterangan
Perokok di Rumah	(N)	(%)	(N)	(%)			
Ada	3	3,2	47	50,0	1,00	1,33 (0,26-6,94)	Tidak Signifikan
Tidak	2	2,1	42	44,7			
Total	5	5,3	89	94,7			

Hasil menunjukkan tidak terdapat hubungan signifikan antara anggota keluarga yang merokok di rumah dengan kejadian ISPA. *Odds Ratio* (OR) sebesar 1,33 dengan interval kepercayaan 95% (0,26– 6,94) memang menunjukkan adanya peluang sedikit lebih besar terkena ISPA bagi responden yang tinggal bersama perokok. Namun, hasil ini belum dapat dijadikan dasar kuat untuk menyimpulkan adanya hubungan karena interval kepercayaan masih sangat lebar.

Sementara itu, berdasarkan penelitian Rahmaningsih (2022) yang juga dilakukan di Kelurahan Tegal Ratu, orang dewasa yang terpapar asap rokok memiliki risiko 1,69 kali menderita gangguan fungsi paru dibandingkan orang dewasa yang di rumahnya tidak terpapar asap rokok.

Hubungan Jenis Kelamin dan ISPA

Karakteristik Responden	ISPA		Tidak ISPA		P. value Fisher's Exact Test	Odds Ratio (CI 95%)	Keterangan
	(N)	(%)	(N)	(%)			
Laki-laki	1	1,1	26	27,6	1,00	0,61 (0,06-5,85)	Tidak Signifikan
Perempuan	4	4,2	63	67,1			
Total	5	5,3	89	94,7			

Hasil menunjukkan tidak terdapat hubungan signifikan antara jenis kelamin dengan kejadian ISPA pada sampel penelitian ini. *Odds Ratio* (OR) sebesar 0,61 menunjukkan bahwa laki-laki memiliki peluang lebih kecil terkena ISPA dibandingkan perempuan, tetapi hasil ini tidak signifikan secara statistik.

Putri (2012) menyebut, jumlah jenis kelamin laki-laki yang menderita gangguan fungsi paru lebih sedikit dibandingkan dengan jenis kelamin perempuan, hal ini dikarenakan perempuan lebih rentan terhadap adanya gangguan kesehatan dibandingkan laki-laki.

Hubungan Usia dan ISPA

Karakteristik Responden	ISPA		Tidak ISPA		P. value Fisher's Exact Test	Odds Ratio (CI 95%)	Keterangan
	(N)	(%)	(N)	(%)			
Produktif (20-45 Tahun)	3	3,2	36	38,3	0,65	2,21 (0,35-13,7)	Tidak Signifikan
Non Produktif (46-69 Tahun)	2	2,1	53	56,4			
Total	5	5,3	89	94,7			

Hasil uji *Fisher's Exact Test* menunjukkan tidak terdapat hubungan yang signifikan antara kategori usia dengan kejadian ISPA pada sampel penelitian ini. *Odds Ratio* (OR) sebesar 2,21 menunjukkan bahwa responden dengan usia produktif memiliki peluang 2 kali lebih besar mengalami ISPA dibandingkan kelompok non-produktif, namun hasil ini tidak signifikan secara statistik.

Sementara itu, menurut penelitian Rahmaningsih (2022), terdapat hubungan yang signifikan antara usia responden dengan kejadian gangguan fungsi paru. Rata-rata umur pada responden yang menderita penurunan fungsi paru yaitu pada umur 42 tahun.

Hubungan Status Pekerjaan IRT dan ISPA

Karakteristik Responden	ISPA		Tidak ISPA		P. value Fisher's Exact Test	Odds Ratio (CI 95%)	Keterangan
	(N)	(%)	(N)	(%)			
Ibu Rumah Tangga (IRT)	4	4,2	42	44,7	0,19	4,48 (0,48-41,8)	Tidak Signifikan
Non IRT	1	1,1	47	50			
Total	5	5,3	89	94,7			

Hasil uji *Fisher's Exact Test* menunjukkan tidak terdapat hubungan signifikan antara status pekerjaan IRT dengan kejadian ISPA. *Odds Ratio* (OR) sebesar 4,48 artinya responden dengan pekerjaan IRT memiliki risiko sekitar 4,48 kali lebih besar untuk mengalami ISPA dibandingkan responden non-IRT, Namun, hasil ini tidak signifikan secara statistik.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Putra (2015) yang menyatakan ibu rumah tangga memiliki risiko terhadap terjadinya penurunan fungsi paru yang disebabkan oleh pajanan dari konsentrasi PM_{2,5} yang berada dalam ruang.

Hubungan Kedekatan Rumah dan ISPA

Karakteristik Responden	ISPA		Tidak ISPA		P. value Fisher's Exact Test	Odds Ratio (CI 95%)	Keterangan
	(N)	(%)	(N)	(%)			
Jarak Rumah					0,65	2,21 (0,35-13,89)	Tidak Signifikan
≤1 km	2	2,1	53	56,4			
>1 km	3	3,2	36	38,3			
Total	5	5,3	89	94,7			

Hasil menunjukkan tidak terdapat hubungan signifikan antara kedekatan rumah dengan pabrik dan kejadian ISPA. *Odds Ratio* (OR) sebesar 2,2 menunjukkan bahwa responden yang tinggal pada jarak ≤1 km memiliki peluang sekitar 2,2 kali lebih besar untuk mengalami ISPA. Namun, hasil ini tidak signifikan secara statistik karena interval kepercayaan lebar dan mencakup angka 1.

Hubungan Polutan Udara dan ISPA

Analisis hubungan antara konsentrasi polutan udara (PM2,5) dengan kejadian ISPA dilakukan menggunakan regresi logistik biner. Alasan pemilihan metode ini adalah karena variabel terikat berupa data biner, yaitu status ISPA yang dikategorikan menjadi 0 = tidak ISPA dan 1 = ISPA. Regresi logistik biner sesuai digunakan untuk menganalisis pengaruh satu atau lebih variabel bebas terhadap peluang munculnya suatu kejadian dengan dua kemungkinan.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi polutan udara (PM2,5). Hal itu karena PM2,5 sangat berpengaruh terhadap risiko gangguan pernapasan terutama ISPA lantaran ukuran partikelnya yang sangat kecil sehingga mudah masuk ke dalam paru-paru-paru. Selain itu, ditambahkan pula beberapa variabel kontrol yang dianggap berpotensi memengaruhi risiko ISPA, yaitu usia, jenis kelamin, kebiasaan merokok, keberadaan perokok di rumah, dan lama tinggal di wilayah penelitian.

Hubungan PM2.5 dan ISPA

Variabel	B	p-value	Exp(B)	95 CI Exp(B)
PM2-5	-0,072	0,106	0,931	0,857-1,012
Kategori Usia (Produktif vs Non)	-1,081	0,321	0,339	0,031-3,739
Jenis Kelamin	0,788	0,645	2,198	0,065-74,165
Kedekatan Rumah (<1km vs >1km)	1,255	0,265	3,507	0,377-32,620
Merokok	1,164	0,488	3,203	0,064-160,655
Perokok di Rumah	-0,517	0,658	0,596	0,043-8,323
Lama Tinggal	-1,372	0,325	0,253	0,014-4,612

Model regresi logistik (logit) sebagai berikut: $\text{Logit}(p) = 1,555 - 0,072 \times \text{PM2.5} - 1,081 \times \text{Usia} + 0,788 \times \text{Jenis Kelamin} + 1,255 \times \text{Kedekatan Rumah} + 1,164 \times \text{Merokok} - 0,517 \times \text{Perokok di Rumah} - 1,372 \times \text{Lama Tinggal}$.

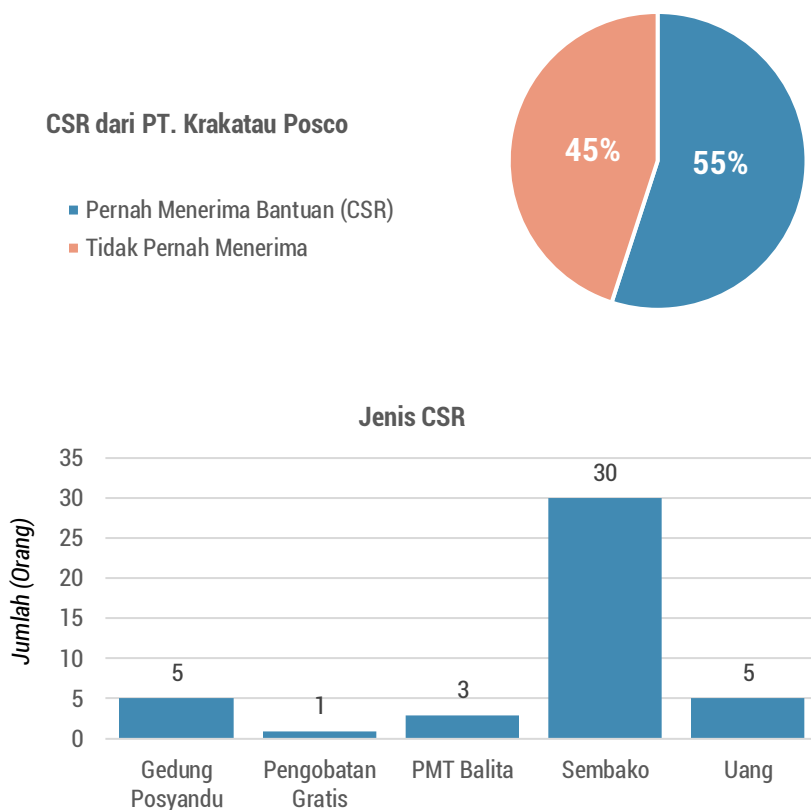
Berdasarkan tabel hasil regresi logistik, variabel PM2,5 memiliki nilai *Odds Ratio* (Exp(B)) sebesar 0,931 dengan *p-value* 0,106. Angka ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar PM2,5, peluang mengalami ISPA cenderung lebih kecil (sekitar 0,93 kali lipat). Namun, hasil ini tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$), sehingga hubungan tersebut belum dapat dipastikan. Variabel kontrol seperti usia, jenis kelamin, kedekatan rumah, kebiasaan merokok, adanya perokok di rumah, dan lama tinggal juga tidak menunjukkan hubungan signifikan terhadap ISPA.

Analisis regresi logistik juga dilakukan untuk variabel PM₁₀ dan PM₁₀₀. Hasilnya menunjukkan bahwa keduanya tidak berhubungan signifikan dengan kejadian ISPA ($p > 0,05$). Sementara itu, menurut Zhang *et al* (2016), kenaikan konsentrasi PM2,5 di udara ambien sebesar 10µg/m³ memiliki hubungan signifikan dengan penurunan kapasitas vital paksa paru sebesar 3,4%. Sedangkan Agustan J (2024) dalam penelitiannya menyebut bahwa PM_{2,5} dan PM₁₀ dapat memperburuk kondisi dan meningkatkan risiko ISPA, terutama pada populasi rentan.

4.2.4 Dampak Sosial-Ekonomi

Pemberian Bantuan/CSR

Berdasarkan hasil kuesioner, sebagian besar responden yaitu 52 responden (55%) menyatakan pernah menerima bantuan atau program CSR dari PT Krakatau Posco, sedangkan 42 responden (45%) menyatakan tidak pernah menerima. Hal ini menunjukkan bahwa program CSR perusahaan sudah menjangkau lebih dari separuh warga, namun distribusinya belum merata karena masih ada hampir setengah responden yang belum merasakan manfaat langsung.



Jenis bantuan CSR yang diterima masyarakat Kelurahan Tegal Ratu didominasi oleh pemberian sembako (30 responden), gedung posyandu (5 responden), uang tunai (5 responden), PMT balita (3 responden), serta pengobatan gratis (1 responden). Pola ini menunjukkan program lebih dominan pada bantuan konsumtif, sementara sektor kesehatan dan pembangunan sosial masih relatif terbatas realisasinya.

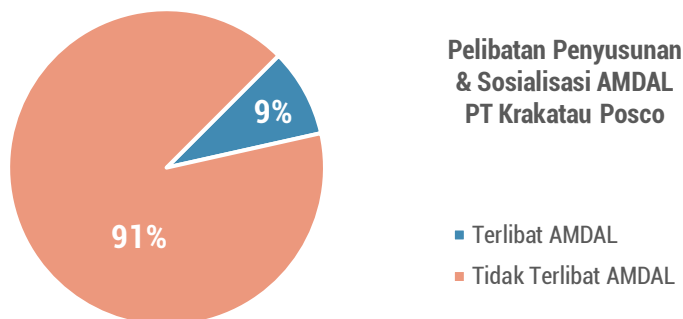
Dalam dokumen AMDAL, PT Krakatau Posco melampirkan berbagai program CSR kepada masyarakat di kawasan industri seperti pemberian sembako, uang, beasiswa, penyediaan fasilitas olahraga ke sekolah, uji coba makanan bergizi, dan lainnya.

"Buat pemerintah dan perusahaan, tolong dong ada posko kesehatan (gratis) buat warga untuk nanganin keluhan-keluhan (kesehatan). Jangan bilang 'kan puskesmas dekat'. Misal seminggu dimana, minggu depan dimana. Jadi kondisi (kesehatan) kita itu terkontrol," ucap S, warga RT 16.

"Mohon diperhatikan lagi dari segi kesehatannya, seperti bikin posko kesehatan gratis. Bisa 3 bulan sekali, 6 bulan sekali, atau setahun sekali. Itu udah niat baik sekali," sambung A, ketua RW.

Keterlibatan Penyusunan AMDAL

Berdasarkan hasil kuesioner, mayoritas masyarakat Kelurahan Tegal Ratu (91%) menyatakan tidak pernah dilibatkan dalam penyusunan atau sosialisasi AMDAL PT Krakatau Posco. Hanya sebagian kecil (9%) yang merasa pernah berpartisipasi. Hal ini menunjukkan rendahnya tingkat keterlibatan masyarakat dalam proses perencanaan maupun evaluasi dampak lingkungan.

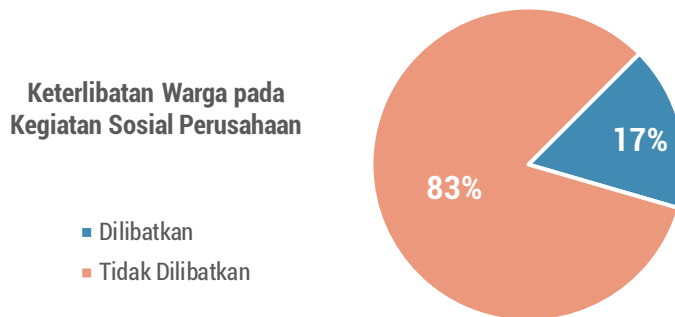


Sementara itu, dalam dokumen AMDAL PT Krakatau Posco dinyatakan bahwa perusahaan telah melibatkan masyarakat sebagai *stakeholder* eksternal dengan pembagian responden di beberapa wilayah, termasuk Kelurahan Tegal Ratu untuk menggambarkan persepsi mereka terhadap perusahaan.

Dengan demikian, terdapat kesenjangan antara data kuesioner dan klaim dalam AMDAL. Jika dalam AMDAL masyarakat diposisikan sebagai pihak yang berperan aktif, hasil kuesioner AEER justru memperlihatkan bahwa sebagian besar warga tidak pernah mendapatkan kesempatan untuk berpartisipasi. Hal ini menimbulkan pertanyaan mengenai implementasi nyata program AMDAL di lapangan, khususnya terkait transparansi, akuntabilitas, dan pemerataan pelibatan warga terdampak.

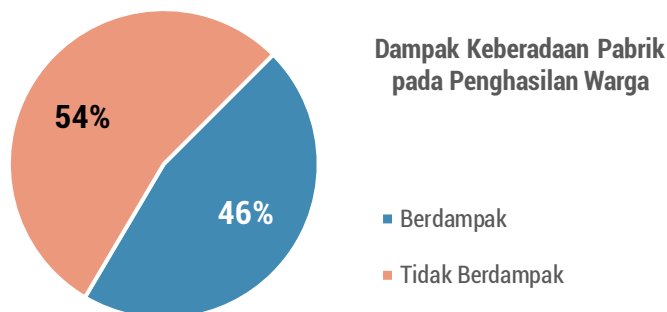
Keterlibatan Acara Pabrik

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa 83% mayoritas warga (78 responden) tidak merasakan adanya keterlibatan dalam kegiatan sosial perusahaan, seperti bakti sosial, perayaan HUT, atau acara komunitas lainnya.



Dampak Penghasilan

Berdasarkan hasil kuesioner, sebanyak 51 responden (54 %) menyatakan tidak merasakan dampak positif pada penghasilan mereka akibat keberadaan pabrik baja, sementara 43 orang (46%) menyatakan ada peningkatan penghasilan. Hal ini menunjukkan bahwa dampak ekonomi yang ditimbulkan masih terbagi relatif seimbang, meskipun sedikit lebih banyak warga yang tidak merasakan manfaat langsung.



Secara kualitatif, beberapa responden menilai bahwa pabrik belum sepenuhnya membuka peluang kerja bagi warga lokal karena banyak tenaga kerja yang direkrut dari luar daerah. Ada juga keluhan bahwa warga sekitar hanya diberi kesempatan sebagai pekerja kontrak atau buruh kasar, sementara posisi karyawan tetap sulit diakses. Akibatnya, sebagian warga menilai pabrik tidak memberikan kontribusi signifikan pada pengurangan pengangguran di daerah mereka.

“Kalau open loker tiap tahun ada, tapi cuma pelatihan. Terus tidak dipanggil atau jadi karyawan permanen,” ungkap A, ketua RW.

Namun bagi warga yang berhasil bekerja di pabrik, keberadaan industri baja memberikan manfaat nyata berupa peningkatan penghasilan, kesempatan kerja bagi anggota keluarga, dan berkurangnya kesulitan ekonomi rumah tangga. Dengan kata lain, meskipun ada penyerapan tenaga kerja, aksesnya masih terbatas dan tidak merata bagi masyarakat sekitar.

4.3 Analisis Polutan Berbahaya

Proses industri baja di Cilegon selain menggunakan bahan bakar fosil juga menggunakan material yang mengandung polutan berbahaya untuk lingkungan dan kesehatan manusia. Polutan tersebut logam berat merkuri (Hg), kadmium (Cd), serta *partikulat matter* berupa debu silika (SiO₂) dan PM_{2,5}.

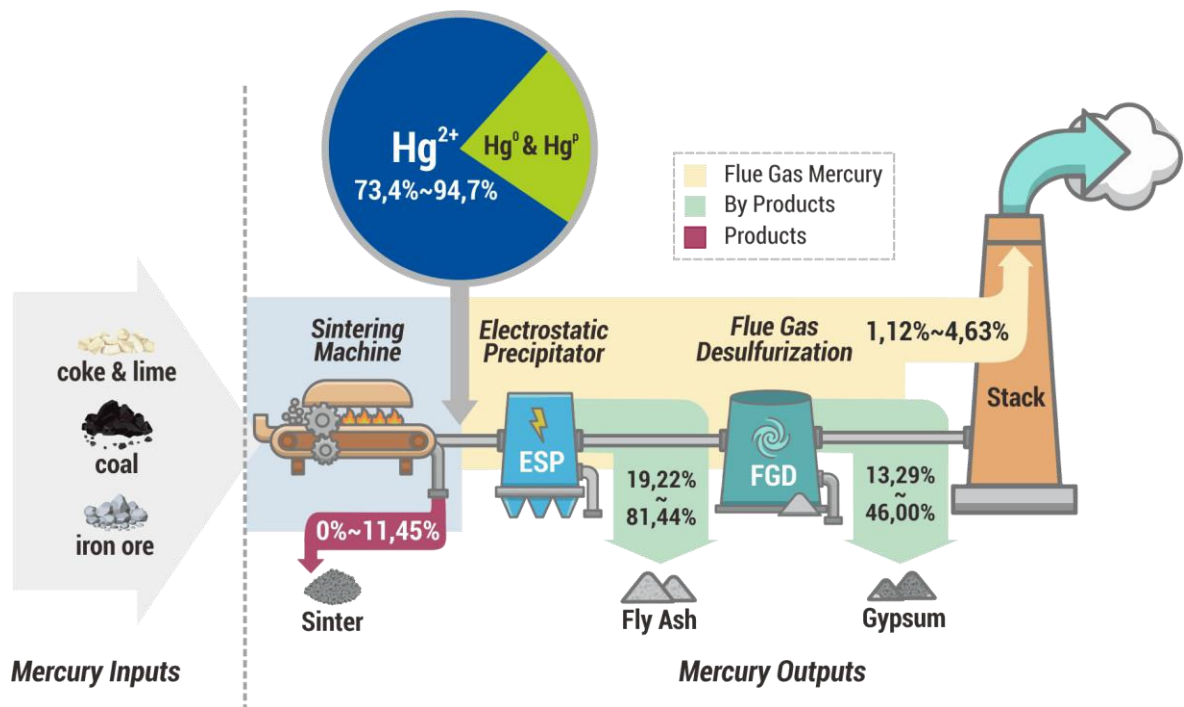
Tabel 10. Daftar Polutan Berbahaya dari Aktivitas Industri Baja Berbasis BF-BOF, Media Lingkungan yang Terpapar dan Beban Emisi

Polutan Berbahaya	Media lingkungan yang tercemar/terpapar	Beban emisi/tahun (ton) dalam (mg/Nm ³)		
		2021	2022	2023
Merkuri (Hg)	air limbah, udara ambien, tanah, air sedimen laut	0,21	1,02	0,22
Kadmium (Cd)	air limbah, udara ambien, air permukaan, tanah	0,34	1,72	0,35
Debu Silika (SiO ₂)	udara ambien, tanah	Tidak terdata	Tidak terdata	Tidak terdata
PM	udara ambien, tanah, air permukaan	963,1	995,9	647,7

(Sumber: AMDAL dan SIMPEL PT Krakatau Posco, 2025)

4.3.1 Merkuri (Hg)

Pada industri baja, merkuri yang terkandung biasanya berupa uap merkuri Hg^0 dan merkuri anorganik Hg^{2+} . Media tempat paparan merkuri terdiri atas 4 lokasi, yakni dari cerobong yang tersebar ke udara, dari air limbah, padatan residu, hingga produk samping dari *slag* atau *pig iron*. Walaupun uap merkuri yang dibuang ke udara kadarnya rendah (hanya 1%-5%) dari total kandungan, namun akumulasi di lingkungan dari waktu ke waktu akan memperparah potensi kesehatan secara perlahan dan berpotensi mengakibatkan penyakit yang bersifat kronis.



Gambar 28. Titik Masuk dan Keluar Merkuri di Industri Baja

(Sumber: Xu et al, 2017)

Berdasarkan data AMDAL PT Krakatau Posco, hasil pengukuran kualitas air limbah pada tahun 2023 menunjukkan kandungan merkuri atau raksa (Hg) mendekati baku mutu yakni <0,0017 mg/L dari 0,002 mg/L sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Air Limbah Umum, sebagai ambang batas konsentrasi yang diperbolehkan untuk beberapa jenis usaha/aktivitas industri.

Tabel 11. Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah Semester 2 Tahun 2023 pada *Efluen Final Wastewater Treatment Plant* ke Laut

Parameter	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Des	Baku Mutu (mg/L)
Air Raksa (Hg)	<0,0017	<0,0017	<0,0017	<0,0017	<0,0017	<0,0017	0,002

(Sumber: AMDAL PT Krakatau Posco, 2025)

Emisi terbesar untuk merkuri yang tersebar melalui udara bersumber dari dua tempat, yakni di *Sinter Plant* yang menyumbang 46%–50% dari total emisi pabrik, serta dari pembakaran gas batu bara yang menyumbang 17%–49% dari total emisi pabrik.

Penelitian Wang *et al*, (2016) mengungkapkan, emisi merkuri pada *Blast furnace* 2x lipat lebih besar dibandingkan pada *Electric Arc Furnace* (EAF). Emisi merkuri gabungan dari *coke oven*, *sintering*, dan *blast furnace* mencapai 0,047–0,039 g Hg/ton baja, sedangkan pada EAF hanya 0,021 g Hg/ton baja. Debu dari *blast furnace* juga mengandung merkuri dalam jumlah yang cukup besar, yang memuat ~27–36% dari total keluaran Hg pabrik.

4.3.2 Kadmium (Cd)

Dalam industri baja, kadmium (Cd) tidak digunakan secara sengaja, tetapi terikut dari bahan baku, seperti bijih besi, batu bara/kokas, fluks (batu kapur/dolomit), dan *scrap baja daur ulang*. Cd bersifat mudah menguap karena titik didihnya rendah (767 °C), sehingga saat proses peleburan baja yang mencapai 1500–1700 °C, sebagian besar Cd berubah menjadi uap logam (Cd(g)) atau oksida (CdO) dan terbawa ke sistem gas buang serta residu debu.

Tabel 12. Faktor Emisi Kadmium (Cd) dari Industri Besi dan Baja Eropa

Proses	Faktor Emisi (g Cd/t produk baja)		
	Atmosfer	Limbah Padat	Slag
Sintering	0.08	0	0
Ironmaking	0	0.67	(Tidak Ditentukan)
Basic Oxygen Steelmaking	0.02	0.36	1.11
Electric Arc Steelmaking	0.40	3.65	0.29

(Sumber: Hutton, 1983)

Menurut penelitian Izquierdo & Querol (2012), Cd ditemukan dalam residu pembakaran batubara dan abu sinter hingga 0,1–3 mg/kg. Pada tahap *Blast Furnace*, reaksi reduksi dan peleburan bijih pada suhu >1500 °C menyebabkan Cd menguap total. Uap Cd terbawa bersama top gas dan ditangkap oleh *dust collector* (ESP/bag filter), sehingga Cd tersisa dalam slag kurang dari 1%.

Sementara itu, pada *Electric Arc Furnace* (EAF), sumber Cd berasal dari scrap baja daur ulang, yakni dari komponen elektronik dan galvanis bekas. Sama seperti pada Blast Furnace, peleburan scrap di tahap EAF dengan suhu >1600 °C akan menyebabkan Cd menguap menjadi Cd(g) atau CdO). Uap Cd kemudian ditangkap oleh dust collector (ESP/Bag filter), dengan kandungan Cd mencapai 10–300 mg/kg. Sementara itu, pada slag dan baja cair, kandungan Cd sangat rendah (<1 mg/kg) karena volatilitasnya yang tinggi.

4.3.3 Debu Silika

Partikel debu silika (SiO₂) menghasilkan konsentrasi yang relatif tinggi di udara dan tanpa sadar terhirup oleh pekerja maupun warga di sekitar industri. Dalam jangka panjang, semakin banyak menghirup debu silika maka berisiko terkena penyakit kronis, seperti pneumokonioses hingga silikosis.

Debu silika bebas banyak terdapat di pabrik besi dan baja, tak terkecuali di PT Krakatau Posco. Bahan-bahan baku dan bahan penolong untuk proses *ironmaking* dan *steelmaking* di PT Krakatau Posco memiliki kandungan SiO₂ tinggi, di antaranya:

- batu bara/*coal*, konsumsi spesifik 4.640.000 ton/tahun
- bijih besi, konsumsi spesifik 9.860.000 ton/tahun
- *coke breeze*/kokas, konsumsi spesifik 413.000 ton/tahun
- kuarsit, konsumsi spesifik 91.778 ton/tahun
- pasir silika, konsumsi spesifik 91.778 ton/tahun

Tabel 13. Konsumsi Debu Silika PT Krakatau Posco Tahun 2024

Uraian	Konsumsi harian (ton/hari)			Konsumsi spesifik (ton/hari)		
	<i>Plant 1</i>	<i>Plant 2</i>	Total	<i>Plant 1</i>	<i>Plant 2</i>	Total
Debu silika	17	17	34	6.000	6.000	12.000

(Sumber: AMDAL PT Krakatau Posco, 2025)

Terdapat keluhan dari warga soal adanya partikel silika saat proses *shutdown* pabrik. Diketahui bahwa PT Krakatau Posco melakukan *maintenance* atau pemeliharaan dengan melakukan proses pengurusan hingga 16 jam lamanya dan dilakukan sekitar 2 bulan sekali. Hal ini ditandai dengan adanya ledakan yang besar serta semburan partikel putih hingga area permukiman, salah satunya Kelurahan Tegal Ratu, Kota Cilegon. Partikel putih ini disinyalir sebagai partikel silika dan sangat berbahaya apabila dihirup oleh warga setempat. Hal ini perlu perhatian serius dari perusahaan dan pemerintah.

Pada masing-masing tahap produksi seperti *coke oven Plant*, *sintering Plant*, *Blast Furnace*, hingga *Steel Making Plant*, PT Krakatau Posco diketahui memiliki alat penyaring debu, berupa *dedusting*. Debu yang dihisap akan disaring menggunakan *bag filter* sebelum dikeluarkan melalui cerobong *dedusting*. Kandungan debu pada udara yang dikeluarkan melalui cerobong adalah maksimal 35 mg/Nm³, sedangkan baku mutu yang berlaku adalah 75 mg/Nm³.

PT Krakatau Posco juga memiliki 67 cerobong *dedusting* saat tahap operasional. Namun dalam realisasi RKL, pihak perusahaan menyebut hanya 4 cerobong yang dipasang alat CEMS dan tersambung ke sistem SISPEK KLHK, yaitu COP 9, SP3, SMP 3 dan BF2. Selain itu dalam AMDAL, PT Krakatau Posco hanya melampirkan laporan beban emisi (ton/tahun) per parameter dari kegiatan eksisting dari 49 cerobong saja. Hal ini menjadi tanda bahwa ada sumber emisi yang belum terpantau.

Pemakaian batu bara sebagai bahan bakar dan bahan baku utama banyak menghasilkan debu silika bebas SiO₂. Pada saat batu bara dibakar di proses *coke oven Plant*, debu silika akan keluar dan terdispersi ke udara bersama – sama dengan partikel lainnya, seperti debu alumina, oksida besi dan karbon yang terakumulasi dalam bentuk abu. Selain itu debu silika juga diperoleh dari bahan bakar lainnya seperti bijih besi, kokas, kuarsit, dan pasir silika dalam proses *ironmaking*.

Komposisi silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) dalam *steel slag* pada proses *ironmaking* jumlahnya sangat tinggi, karena berkontribusi pada kekuatan dan stabilitas slag. Kandungan silika pada slag baja memiliki komposisi 15% - 19,1% (Aziz et al, 2022). Pada proses *sintering*, kandungan silika yang dihasilkan dari material bahan baku juga cukup tinggi.

Tabel 14. Kandungan Silika di Bahan Baku Proses Sintering (dalam %)

Bahan Baku	TFe*	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	LOI**	Proporsi dari total bahan baku
Campuran bijih besi	60,26	3,95	0,93	0,36	1,87	4,54	81,60
Batu kapur	2,08	2,12	48,87	3,05	0,53	42,00	4,90
Dolomit	1,38	5,59	26,40	21,14	1,13	42,06	4,00
Burnt lime	0,26	2,94	74,27	4,82	0,70	14,18	5,00
Kokas	2,92	7,47	0,55	0,20	4,39	83,22	4,50
Material halus sisa proses sintering	56,07	4,55	9,12	1,76	2,06	0,00	10,00
Campuran dari bahan baku	56,18	4,52	9,03	1,75	2,04	-	-
* TFe: total kandungan besi. ** LOI: kehilangan massa saat pemanasan 950 °C.							

(Sumber: Liu et al, 2023)

Saat proses *Blast furnace* (BF), akan menghasilkan *pig iron* (95% Fe, 3,5% C) dan slag (Al_2O_3 , CaSiO_3 , abu kokas, CaCO_3). Slag ini biasanya digunakan untuk konstruksi dan campuran semen. Sementara pada proses *Basic Oxygen Furnace* (BOF) *pig iron* dari BF dilelehkan, kemudian diberi oksigen murni untuk mengoksidasi dan membuang kotoran (Si, C, P, Mn). Reaksi menghasilkan senyawa oksida (CaO-SiO_2 , MnO, FeO, dsb). Besi rongsokan (scrap) juga ditambahkan agar efisien, sedangkan Batu kapur (CaCO_3) dipakai untuk mengikat silika (SiO_2).

4.3.4 PM_{2,5}

Berdasarkan data AMDAL, PT Krakatau Posco sudah melakukan pengukuran kualitas udara ambien pada tahun 2019-2023. Pengukuran ini dilakukan di 4 (empat) titik uji udara dan 2 (lokasi) yang terletak di Kelurahan Tegal Ratu, yakni kawasan Cigading dan Kebanjiran. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 22/2021, baku mutu untuk PM_{2,5} adalah 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasilnya, pada parameter PM_{2,5} ada beberapa yang mendekati baku mutu (**Lihat pada Tabel 17-20**).

Upaya pengendalian PM_{2,5} meliputi penggunaan *baghouse*, ESP, serta *enclosure* dan *dust suppression* guna menekan emisi fugitif. Untuk kualitas emisi, jika titik panas (sinter/BOF/EAF) tidak terkontrol maka PM_{2,5} bisa mencapai ratusan mg/Nm^3 dari PM total. Sementara penanganan *baghouse*/ESP yang baik bisa menurunkan hingga kurang dari 10–20 mg/Nm^3 . Menurut data AMDAL, PT Krakatau Posco sudah menerapkan pengelolaan fugitif guna mengendalikan debu dan partikulat PM_{2,5} seperti *bag filter*, cerobong, ESP, *spraying gun*, *wet scrubber*, hingga *gas cleaning Plant*.

Pajanan *Particulate Matter* (PM) yaitu suatu jenis polutan yang berbahaya yang dapat menyebabkan tingginya angka kematian. *Particulate Matter* adalah suatu bahan pencemar yang berasal dari berbagai campuran partikel yang kompleks seperti asap, debu, kotoran, jelaga, dan tetesan cairan yang ditemukan di udara dengan ukuran cukup kecil (IDEM, 2015). Salah satunya PM_{2,5} yang didefinisikan sebagai partikel udara ambien yang berukuran hingga 2,5 mikron.

Sumber utama PM_{2,5} di pabrik baja berasal dari *sinter Plant*, *coke oven*, *blast furnace*/BOF, EAF, proses penuangan dan finishing, serta *fugitive dust* dari penanganan material. Proses pembakaran sinter mix di *Sinter Plant* akan melepaskan partikel halus dan gas prekursor (SO_2 , NO_x) yang menjadi sumber PM_{2,5} sekunder. Sedangkan pada *coke oven*, PM_{2,5} dan senyawa Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH) timbul saat tahap *charging*, *pushing*, serta dari kebocoran pintu atau penutup.

Komposisi khas dari PM_{2,5} adalah besi oksida ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$), sulfat/nitrat, karbon (organik dan black carbon), Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH) dari kokas, serta jejak logam (Zn, Pb, Mn, Cr, Ni). Kandungan PM_{2,5} biasanya mencapai 20–50% dari total partikulat (TSP), bergantung pada proses dan sistem kontrol yang diterapkan (Yang *et al*, 2015).

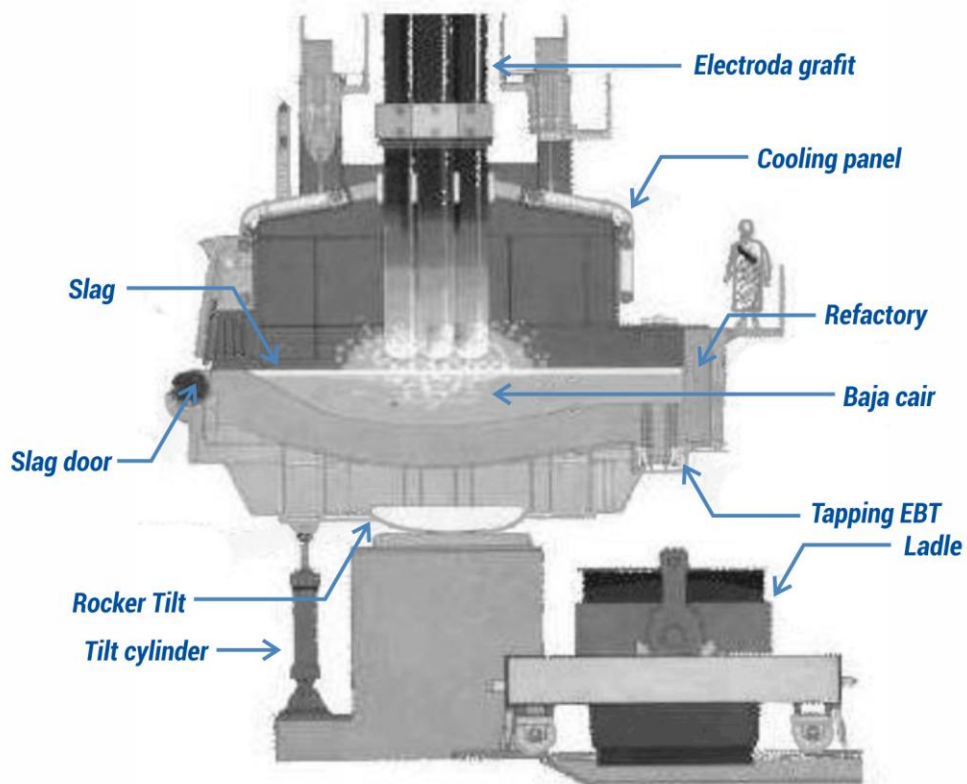
4.4 Urgensi Perubahan Proses Industri Baja Rendah Karbon dan Ramah Lingkungan

Tabel 15. Kelebihan dan Kekurangan Teknologi Pengolahan Baja berbasis Listrik dan Fosil

Rute Ironmaking - Steelmaking	Kelebihan	Kekurangan
DRI-EAF / Scrap-EAF	• Utilisasi besi spons (DRI) dan scrap sehingga lebih fleksibel terhadap bahan baku • Emisi karbon dan polutan lebih rendah dibanding BF–BOF. • Investasi awal relatif lebih kecil	• Konsumsi energi listrik tinggi • Kualitas baja tergantung pada kualitas scrap atau DRI yang digunakan • Kapasitas produksi lebih kecil dibanding BF–BOF
BF -BOF	• Efisiensi Panas Tinggi • Produktivitas Tinggi • Usia Penggunaan yang lama	• Penggunaan material/bahan baku kualitas tinggi • Kebutuhan kokas dan sinter • Polutan dengan emisi yang tinggi • Biaya investasi yang besar

(Sumber: fajarmuktiana, 2020)

Material berbahaya dan bahan bakar fosil harus segera diganti dengan yang lebih bersih dan terbarukan. Dekarbonisasi di industri baja memang perlu mengganti bahan bakar fosil ke energi terbarukan. Namun, penggunaan material seperti pasir kuarsa dan dolomit untuk fluks di *blast furnace* harus diganti karena menimbulkan pencemaran zat berbahaya di lingkungan sekitar. Material di EAF tidak banyak menggunakan zat-zat berbahaya dan mengandalkan besi bekas/*scrap*, DRI, *Hot Briquette Iron*, *hot metal*, oksigen, dan kapur bakar. Walaupun menggunakan besi skrap, tetap perlu dipantau kandungannya dan dilakukan pengelolaan lingkungan dengan benar, baik melalui pengendalian pencemaran udara dan pengelolaan limbah cair yang akan dibuang ke lingkungan. Salah satu contoh yang terjadi di bulan Sepember 2025 di Banten adalah kontaminasi material radioaktif di bahan skrap yang membuktikan lemahnya aturan lingkungan di industri baja Indonesia sehingga perlu pembenahan sekaligus penerapan dekarbonisasi (Hanung dan Uli, 2025).



Bahan baku:

- Scrap, DRI, HBI
- Hot metal sebagai tambahan
- Oksigen
- Kapur bakar

Sumber panas:

Energi listrik

Produk:

- Baja Kasar
- Slag
- Gas buang

Komposisi baja cair kasar EAF

C = 0.04 ~ 0.1%; Mn = 0.1%

Si = 0.005%, P = 0.02%, S=0.015%

Gambar 29. Garis Besar Produksi EAF
(Sumber: fajarmuktiana, 2020)

4.5 Perbandingan Baku Mutu Udara Ambien Korea Selatan vs Indonesia

PT Krakatau Posco sebagai perusahaan *patungan* antara POSCO Korea dan BUMN Indonesia seharusnya memiliki standar yang tinggi sebagai acuan baku mutu lingkungan, karena Korea Selatan selaku negara maju memiliki standar lingkungan yang tinggi dan berkelas internasional. Namun pada nyatanya terdapat beberapa waktu di mana hasil pengukuran kadar lingkungan yang masih berada di atas baku mutu lingkungan, bahkan di atas standar Indonesia yang lebih rendah dibandingkan Korea Selatan dalam hal udara ambien.

Berikut tabel perbandingan baku mutu udara ambien Korea ([AirKorea](#)) dan Indonesia (PP No. 22/2021 Lampiran VII). Satuan mengikuti sumber aslinya (Korea banyak memakai ppm, Indonesia memakai $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabel 16. Perbandingan Baku Mutu Udara Ambien di Indonesia dan Korea Selatan

Parameter	Waktu Rata-rata	Korea (AirKorea)	Indonesia (PP 22/2021)
PM _{2,5}	24 jam	$\leq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 tahun	$\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM ₁₀	24 jam	$\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 tahun	$\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃	1 jam	$0,1 \text{ ppm} \times 1.963 = 196 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 jam	$0,06 \text{ ppm} \times 1.963 = 118 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 tahun	—	$\leq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	1 jam	$0,1 \text{ ppm} \times 1.882 = 188 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 jam	$0,06 \text{ ppm} \times 1.882 = 113 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 65 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 tahun	$0,03 \text{ ppm} \times 1.882 = 56 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	1 jam	$0,15 \text{ ppm} \times 2.616 = 392 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 jam	$0,05 \text{ ppm} \times 2.616 = 131 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 tahun	$0,02 \text{ ppm} \times 2.616 = 52 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	1 jam	$25 \text{ ppm} \times 1.145 = 28,625 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	8 jam	$9 \text{ ppm} \times 1.145 = 10,305 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 4.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Pb (timbal)	1 tahun (KR)	$\leq 0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\leq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam)
Benzena	1 tahun	$\leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	—
NMHC	—	—	$\leq 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 jam)
TSP (<100 μm)	—	—	$\leq 230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 jam)

Jika dibandingkan dengan baku mutu ambien Korea Selatan, terdapat tiga parameter yang lebih rendah dibandingkan baku mutu udara ambien Indonesia, yaitu PM_{2,5} (24 jam), NO₂ (1 jam), dan Pb. Selanjutnya, dilakukan analisis untuk mengetahui apakah parameter melewati baku mutu atau tidak.

Setelah dilakukan analisis, terdapat beberapa parameter yang mendekati dan melewati baku mutu udara ambien Indonesia maupun Korea Selatan, terutama dalam rentang 2019 hingga 2023. Terdapat 4 (empat) titik uji udara ambien dan 2 (lokasi) yang melewati yaitu Cigading dan Kebanjiran, yang mana kedua lokasi tersebut terletak di Kelurahan Tegal Ratu.

Tiga parameter yang menjadi sorotan adalah TSP/*Total Suspended Particulate* yaitu PM10, PM2,5, dan PM100. Dari 3 parameter ini, ada beberapa yang melebihi baku mutu Indonesia dan Korea, mendekati baku mutu Indonesia dan Korea, dan hanya melebihi baku mutu Korea. Status udara di waktu yang melebihi baku mutu udara tergolong moderat (9,1 - 35 µg/m³) hingga tidak sehat (55 - 125 µg/m³).

Tabel 17. Hasil Pengujian Kualitas Udara Ambien Pemukiman Titik Sampel Cigading 1

No	Parameter	Baku Mutu Indonesia	Baku Mutu Korea	Satuan	Cigading 1 (Ds Tegal Ratu RT18 RW05)								
					2019-S1	2019-S2	2020-S1	2020-S2	2021-S1	2021-S2	2022-S1	2022-S2	2023-S1
1	Pm <100 µm (TSP)	230		µg/m ³	6	45	47	152	33	17	89	7	180
2	Pm <10 µm (TSP)	75	100	µg/m ³	4	30	30	99	26	3	29	5	37
3	Pm <2,5 µm (TSP)	55	35	µg/m ³	2	12	13	43	7	6	21	2	25
Keterangan:													
Abu :		Melebihi BM Indonesia & Mendekati BM Korea											
Biru :		Melebihi BM Korea & Mendekati BM Indonesia											

Sumber AMDAL PT Krakatau Posco, 2025

Tabel 18. Hasil Pengujian Kualitas Udara Ambien Pemukiman Titik Sampel Cigading 2

No	Parameter	Baku Mutu Indonesia	Baku Mutu Korea	Satuan	Cigading 2 (Ds Tegal Ratu RT18 RW05)								
					2019-S1	2019-S2	2020-S1	2020-S2	2021-S1	2021-S2	2022-S1	2022-S2	2023-S1
1	Pm <100 µm (TSP)	230		µg/m ³	9	46	30	164	192	20	122	9	136
2	Pm <10 µm (TSP)	75	100	µg/m ³	6	33	20	107	65	4	40	6	27
3	Pm <2,5 µm (TSP)	55	35	µg/m ³	3	11	8	46	29	11	29	2	16
Keterangan:													
Ungu :		Melebihi BM Indonesia & Melebihi BM Korea											
Kuning :		Mendekati BM Indonesia											
Biru :		Melebihi BM Korea & Mendekati BM Indonesia											
Hijau :		Mendekati BM Korea											

Sumber AMDAL PT Krakatau Posco, 2025

Tabel 19. Hasil Pengujian Kualitas Udara Ambien Pemukiman Titik Sampel Kebanjiran 1

No	Parameter	Baku Mutu Indonesia	Baku Mutu Korea	Satuan	Kebanjiran 1 (Kubang Faran/ Tegal Ratu RT04 RW02)								
					2019-S1	2019-S2	2020-S1	2020-S2	2021-S1	2021-S2	2022-S1	2022-S2	2023-S1
1	Pm <100 µm (TSP)	230		µg/m ³	10	29	44	120	52	31	164	32	189
2	Pm <10 µm (TSP)	75	100	µg/m ³	7	20	29	78	27	10	70	11	62
3	Pm <2,5 µm (TSP)	55	35	µg/m ³	2	7	13	34	22	9	52	8	45
	Keterangan:												
	Merah :	Melebihi BM Indonesia											
	Kuning :	Mendekati BM Indonesia											
	Hijau :	Mendekati BM Korea											
	Biru :	Melebihi BM Korea & Mendekati BM Indonesia											

Sumber AMDAL PT Krakatau Posco, 2025

Tabel 20. Hasil Pengujian Kualitas Udara Ambien Pemukiman Titik Sampel Kebanjiran 2

No	Parameter	Baku Mutu Indonesia	Baku Mutu Korea	Satuan	Kebanjiran 2 (Alhidayah / Cigading RT01 RW01)								
					2019-S1	2019-S2	2020-S1	2020-S2	2021-S1	2021-S2	2022-S1	2022-S2	2023-S1
1	Pm <100 µm (TSP)	230		µg/m ³	4	22	99	225	75	35	129	30	189
2	Pm <10 µm (TSP)	75	100	µg/m ³	2	14	65	32	46	19	64	10	62
3	Pm <2,5 µm (TSP)	55	35	µg/m ³	1	8	28	43	24	8	36	7	45
	Keterangan:												
	Kuning :	Mendekati BM Indonesia											
	Hijau :	Mendekati BM Korea											
	Biru :	Melebihi BM Korea & Mendekati BM Indonesia											

Sumber AMDAL PT Krakatau Posco, 2025

V. Rekomendasi

Dalam rangka mewujudkan dekarbonisasi industri baja, AEER memberikan rekomendasi di beberapa lingkup dalam rangka menurunkan pencemaran lingkungan dan emisi karbon menuju *Net Zero Emission* (NZE) seperti perusahaan baja berbasis fosil seperti PT Krakatau Posco, yaitu:

1. Lingkup Proses dan Sumber Energi

a. Transformasi teknologi dari BF-BOF menjadi DRI-EAF/Scrap-EAF

Berfokus pada pencegahan emisi karbon sejak awal dengan mengganti reduktor berbasis karbon pada proses *Blast furnace* menjadi hidrogen dalam teknologi Direct Reduced Iron (DRI). Besi hasil reduksi ini kemudian dilebur dalam Electric Arc Furnace (EAF) untuk menghasilkan baja, dengan emisi CO₂ yang jauh lebih rendah dibanding proses konvensional.

Penggunaan energi baru dan terbarukan untuk sumber energi listrik di tanur busur listrik akan sangat mengurangi emisi karbon hingga lebih dari 95% dibandingkan BF-BOF dengan sumber energi fosil. Selain itu reduksi bijih besi menggunakan hidrogen hijau yang juga berasal dan dihasilkan dari EBT akan semakin membantu pengurangan emisi karbon dari industri baja.

b. Penggantian material dan bahan bakar untuk proses

Material berbahaya dan bahan bakar fosil harus segera diganti dengan yang lebih bersih dan terbarukan. Dekarbonisasi di industri baja perlu mengganti bahan bakar fosil ke energi terbarukan seperti surya dan angin. Selain itu, penggunaan material berbahaya seperti dolomit, pasir kuarsa, batu kapur, serta material fluks/bahan yang mengandung bahan berbahaya harus segera diganti menjadi bahan yang lebih ramah lingkungan ataupun daur ulang.

2. Lingkup Kebijakan dan Tata Kelola

a. Penguatan dan Penegakan Regulasi Sirkular dari Besi Skrap

Skrap besi akan menjadi bahan baku yang penting untuk dekarbonisasi baja, selain itu juga akan mengurangi intensitas tambang besi serta meningkatkan ekonomi sirkular di rantai pasok baja nasional. Maka dari itu perlu regulasi pengelolaan/reuse material seperti skrap baja dan meningkatkan pengawasan agar tidak terjadi kontaminan radioaktif ataupun penyelewengan/penimbunan skrap di *pengumpul* tertentu dan menghambat sirkulasi pengelolaan di Indonesia.

b. Pembuatan Regulasi Dekarbonisasi Industri

Pengurangan emisi karbon juga harus dilandasi dengan regulasi yang nyata seperti peta jalan dekarbonisasi yang harus diangkat menjadi peraturan pemerintah dan dipatuhi oleh seluruh industri. Selain itu, pengurangan emisi juga harus membahas tentang moratorium pabrik baja berbasis fosil segera agar tidak membebani beban emisi menuju NZE tahun 2050 untuk industri.

c. Pembuatan *Carbon Border* di Indonesia untuk Perlindungan Produk Baja Indonesia di Pasar Nasional dan Global

Oversupply baja dari Tiongkok yang diproyeksikan akan meningkat hingga 750 juta secara global dan telah mengurangi daya saing perusahaan baja nasional karena harga yang lebih rendah namun tinggi jejak karbon. Hal ini jika dibiarkan terus menerus akan melemahkan baja Indonesia dan memperlambat laju dekarbonisasi dan menggunakan teknologi tinggi karbon namun rendah biaya menggunakan *blast furnace* (untuk mengimbangi produk baja Tiongkok yang murah). Maka dari itu, perlu dibuat semacam proteksi karbon untuk produk baja di Indonesia untuk membendung produk baja impor dari Tiongkok untuk menghindari *dumping* secara massal.

d. Pembuatan *buffer zone* di sekitar Kawasan Industri

Secara sederhana, zona penyangga/*buffer zone* adalah area tanah yang ditunjuk untuk memisahkan operasi industri dari penggunaan lahan lainnya. Tujuannya untuk menyediakan transisi dan meminimalkan dampak negatif industri terhadap area sekitarnya. Urgensinya adalah mitigasi polusi, proteksi ekologi, dan kesehatan dan kesejahteraan komunitas.

Jarak ideal antara industri terhadap permukiman adalah minimal 2 (dua) kilometer berdasarkan Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2010 tentang Pedoman Teknis Kawasan Industri.. Namun, kasus di PT Krakatau Posco bahkan ada masyarakat yang berada di radius 100 meter - 500 meter dari areal industri. Hal ini akan meningkatkan potensi paparan polutan dan pencemaran lingkungan akibat jarak yang sangat dekat. Jika memang industri tidak bisa mencari alternatif material dan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, maka warga harus direlokasi dengan jarak zona penyangga yang aman untuk mengurangi potensi paparan penyakit akibat pencemaran lingkungan.

3. Lingkup Sosial

a. Pengecekan kesehatan secara berkala untuk masyarakat terdampak

Pemerintah ataupun industri harus lebih giat dalam melakukan pengecekan kualitas lingkungan yang juga lebih ketat agar dapat melihat apakah baku mutu lingkungan telah terlampaui dan dapat melakukan mitigasi yang sesuai.

b. Audiensi dan sosialisasi kegiatan perusahaan baik ekspansi maupun proses yang membahayakan masyarakat dan lingkungan

Industri baja harus lebih komunikatif dan transparan dalam mengkomunikasikan proses yang berpotensi mengganggu masyarakat seperti *shutdown* BF ataupun ekspansi industri yang juga harus melibatkan masyarakat. Hal ini perlu dilakukan agar masyarakat dapat menyesuaikan dan menyiapkan diri berdasarkan hal tersebut.

c. Transisi pekerja industri baja berbasis fosil menjadi berbasis energi terbarukan

Proses dekarbonisasi ke depan harus didukung dengan peningkatan kapasitas para pekerja dan perusahaan untuk siap transisi ke industri yang lebih hijau, baik dari segi industri ataupun sumber energinya. Hal ini dapat dilakukan melalui *reskilling* ataupun *knowledge enrichment* untuk para karyawan industri baja.



PROMO
LAYANAN

VI. Kesimpulan

Teknologi pengolahan baja menggunakan rute BF-BOF seperti di PT Krakatau Posco memiliki dampak lingkungan yang signifikan, baik pencemaran lingkungan maupun emisi gas rumah kaca. Hal ini diakibatkan oleh metode proses dan juga material yang digunakan. Material yang digunakan setelah diteliti mengandung zat berbahaya dan polusi yang dikeluarkan sebagai produk samping/*byproduct* industri tersebar ke wilayah penduduk Kelurahan Tegal Ratu dan Kelurahan di sekitarnya, yang notabene sangat dekat dengan perusahaan <500 meter sehingga berisiko menyebabkan penyakit kronis jangka panjang akibat akumulasi selama proses industri. Material seperti pasir kuarsit, silika, batubara kokas selain mengandung unsur karbon dan mengeluarkan emisi CO₂ juga termasuk polutan berbahaya.

Secara detail, proses *sintering*, *coke oven Plant*, dan *blast furnace* menjadi hotspot dekarbonisasi baik emisi karbon maupun pengeluaran polutan udara. Ketiga proses ini mengandalkan bahan bakar fosil serta material anorganik yang mengandung zat toksik bagi tubuh. *Blast furnace* sendiri dalam proses pembersihan mengeluarkan bunyi yang sangat bising serta penyebaran debu dan partikel halus yang diduga adalah silika dan PM_{2,5}. Hal ini menjadi perhatian besar bagi warga Kelurahan Tegal Ratu.

Berdasarkan hasil kuesioner, warga Kelurahan Tegal Ratu mengaku imunitas semakin menurun sehingga sering mengalami gangguan kesehatan mulai dari batuk, pilek, gatal-gatal hingga sesak napas diduga akibat paparan polutan seiring makin banyaknya industri di wilayah mereka. Sebagian kecil dari mereka juga menyebut memiliki riwayat penyakit pernapasan seperti ISPA dalam setahun terakhir.

Kerusakan lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas industri seperti pencemaran udara, air, dan tanah, jika dikumpulkan akan menimbulkan dampak besar. Akibatnya, kualitas hidup masyarakat menurun dan daya tahan tubuh pun menurun sehingga rentan terserang penyakit. Hal ini secara tidak langsung melanggar UUD 1945 Pasal 28H ayat (1) yang menyatakan bahwa setiap orang berhak atas lingkungan hidup yang baik dan sehat. Jika kerusakan lingkungan dibiarkan hingga melewati batas kemampuan alam, maka hak masyarakat juga ikut dilanggar.

Maka dari itu, perlu adanya tindak lanjut baik oleh pemerintah agar mengimbau perusahaan untuk segera melakukan praktik dekarbonisasi dan praktik hijau. Hal ini dikarenakan krisis iklim yang semakin parah, daya saing hijau antar industri seperti baja hijau/*greensteel*, restriksi impor baja karbon, dan kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitar hingga global.



VII. Daftar Pustaka

- Agora. 2020. Breakthrough Strategies for Climate-Neutral Industry in Europe. https://www.agora-industry.org/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_Clean_Industry_Package/A-EW_208_Strategies-Climate-Neutral-Industry-EU_Study_WEB.pdf
- Agustan, J., Hariani, PL., Novrikasari. 2024. Hubungan PM_{2,5} dan PM₁₀ dalam Udara Ambien Terhadap Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (Studi Kasus Desa Tanjung Jambu Kecamatan Merapi Timur Kabupaten Lahat). *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*. 6 (2): 1-8. doi:[10.35970/jppl.v6i2.2271](https://doi.org/10.35970/jppl.v6i2.2271).
- Air Korea. (n.d) Air Quality Standards. https://www.airkorea.or.kr/eng/contents/contentView/?pMENU_NO=160&cntnts_no=16
- Aziz, IH., Abdullah MMA., Salleh, MAA., Ming LY., Li, LY., Sandu, AV., Vizureanu, P., Nemes, O., & Mahdi, SN. 2022. *Journal Materials*. 15 (5): 1948. doi: [10.3390/ma15051948](https://doi.org/10.3390/ma15051948).
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Cilegon. 2025. Kecamatan Ciwandan dalam Angka 2025. <https://cilegonkota.bps.go.id/id/publication/2025/09/26/0a9e7dd161891046b8318ec4/kecamatan-ciwandan-dalam-angka-2025.html>
- Cheng, YH., Chang, HP., Yan, JW. 2012. Temporal Variations in Airborne Particulate Matter Levels at An Indoor Bus Terminal and Exposure Implications for Terminal Workers. *Aerosol and Air Quality Research*. 12: 30-38. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.06.0085>.
- Clarkson, TW., Magos, L., Myers, GJ. 2003. The Toxicology of Mercury - Current Exposures and Clinical Manifestations. *N Engl J Med*. 349 (18):1731–1737. doi: [10.1056/NEJMr022471](https://doi.org/10.1056/NEJMr022471).
- Dales, R., Kauri, LM., Cakmak, S., Mahmud, M., Weichenthal, SA., Ryswyk, KV., Kumarathan, P., Thomson, E., Vincent, R., Broad, G., & Liu, L. 2013. Acute Changes in Lung Function Associated with Proximity to a Steel Plant: A Randomized Study. *Environment International*. 55: 15-19. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.01.014>
- Dewan Perwakilan Rakyat (DPR). 2024. Penyampaian Second Nationally Determined Contributions pada KTT Iklim COP29. https://berkas.dpr.go.id/pusaka/files/isu_sepekan/Isu%20Sepekan---V-PUSLIT-Oktober-2024-223.pdf
- Global Burden of Disease (GBD). 2024. Global, Regional and National Incidence and Mortality Burden of non-COVID-19 Lower Respiratory Infections and Aetiologies, 1990–2021: A Systematic Analysis from the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Infect Dis*. 24 (9): 974–1002. doi: [10.1016/S1473-3099\(24\)00176-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(24)00176-2).

- Godt, J., Scheidig, F., Siestrup, CG., Esche V., Bradenburg, P., Reich, A., & Groneberg, DA. 2006. The Toxicity of Cadmium and Resulting Hazards for Human Health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 1 (22): doi: [10.1186/1745-6673-1-22](https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22).
- Hoy, RF., Dimitriadis, C., Abramson, M., Glass, DC., Gwini, SM., Hore-Lacy, F., Jimenez-Martin, J., Walker-Bone, K., & Sim, MR. 2023. Prevalence and Risk Factors for Silicosis among a Large Cohort of Stone Benchtop Industry Workers. *Occup Environ Med*. 80 (8):439-446. doi: [10.1136/oemed-2023-108892](https://doi.org/10.1136/oemed-2023-108892).
- Hutton, M. 1983. Sources of Cadmium in The Environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 7 (1): 9-24. doi: [10.1016/0147-6513\(83\)90044-1](https://doi.org/10.1016/0147-6513(83)90044-1).
- IDEM (Indiana Department of Environmental Management). 2014. Particulate Matter (PM_{2.5}/PM₁₀) Office of Air Quality. India: A State That Works. <http://www.in.gov/idem/>
- Indonesian Iron & Steel Industry Association (IISIA). 2024. Dampak CBAM Terhadap Ekspor Produk Baja RI. <https://iisia.or.id/news/dampak-cbam-terhadap-ekspor-produk-baja-ri>
- Institute for Energy Economics and Financial Analysis. 2022. Steel Fact Sheet. IEEFA. <https://ieefa.org/sites/default/files/2022-06/steel-fact-sheet.pdf>
- Izquierdo M, Querol X. 2012. Leaching behaviour of elements from coal combustion fly ash: an overview. *Int. J. Coal Geol*. 94: 54-66. doi: [10.1016/J.COAL.2011.10.006](https://doi.org/10.1016/J.COAL.2011.10.006)
- Kementerian Kesehatan (Kemenkes). 2023. Mengenali Gejala ISPA dan Tindakan yang Perlu Dilakukan. <https://ayosehat.kemkes.go.id/mengenali-gejala-ispa-dan-tindakan-yang-perlu-dilakukan>
- Kementerian Perindustrian, WRI Indonesia, IESR. 2025. Peta Jalan Dekarbonisasi 9 Subsektor Industri: Booklet untuk AIGIS 2025. [Peta Jalan Dekarbonisasi Industri 9 Subsektor.pdf](#)
- Khales, P., Razizadeh, MH., Ghorbani, S., Moattari, A., Saadati, H., & Tavakoli, A. 2025. Prevalence of Respiratory Viruses in Children with Respiratory Tract Infections during the COVID-19 Pandemic Era: A Systematic Review and Meta-Analysis. *BMC Pulm Med*. 25:135. doi: [10.1186/s12890-025-03587-z](https://doi.org/10.1186/s12890-025-03587-z).
- Li, Z., Wen, Q., Zhang, R. 2017. Sources, Health Effects and Control Strategies of Indoor Fine Particulate Matter (PM_{2.5}): A Review. *Sci Total Environ*. 586: 610–622. doi: [10.1016/j.scitotenv.2017.02.029](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.029).
- Liu, J., Cheng, D., Zhong, Q., Liu, C., Jiang, Y., Zhu, J., Zhang, H., Xu, L., & Ma, X. 2023. Effect of Silica Content on Iron Ore Sintering. *Journal Metals*. 13 (6): 1009. doi: [10.3390/met13061009](https://doi.org/10.3390/met13061009).
- Nowak-Pasternak, J., Lipińska-Ojrzanowska, A., Świątkowska, B. 2022. Epidemiology of Silicosis Reported to The Central Register of Occupational Disease Overlast 20 Years in Poland. *Int J Occup Med Environ Health*. 35 (5): 561–570. doi: [10.13075/ijomeh.1896.01950](https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01950).
- Joanna Nowak-Pasternak 1,✉, Agnieszka Lipińska-Ojrzanowska 2, Beata Świątkowska 3

- Pandit, JK., Watson, DM., Qader, A. 2022. Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Steel Production. CO2CRC. <https://www.resources.nsw.gov.au/sites/default/files/2022-11/report-reduction-of-ghg-emissions-in-steel-industries.pdf>
- Pope A., Burnett RT., Thun MJ., Calle EE., Krewski D., Ito K., & Thurston GD. 2002. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*. 287 (9): 1132-1141. doi: [10.1001/jama.287.9.1132](https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132).
- Pope, CA. 1989. Respiratory Disease Associated with Community Air Pollution and Steel Mill Utah Valley. *Am J Public Health*. 79(5): 623–628. doi: [10.2105/ajph.79.5.623](https://doi.org/10.2105/ajph.79.5.623).
- Putra, NR. 2015. Gambaran Konsentrasi Particulate Matter 2,5 (PM2,5) Pada Waktu Masak dan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Dapur Rumah Makan di Kota Solok Tahun 2015. (Tesis, Universitas Indonesia). UI Repository. <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20415864&lokasi=lokal>.
- Putri, EPD. 2012. Konsentrasi PM2,5 di Udara dalam Ruang dan Penurunan Fungsi Paru pada Orang Dewasa di Sekitar Kawasan Industri Pulo Gadung Jakarta Timur Tahun 2012. (Skripsi, Universitas Indonesia). UI Repository. <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20319881&lokasi=lokal>.
- Rahmaningsih, G. 2022. Paparan PM2.5 terhadap Gangguan Fungsi Paru pada Masyarakat yang tinggal di Permukiman sekitar Kawasan Industri Kecamatan Ciwandan Kota Cilegon Tahun 2022. (Tesis, Universitas Indonesia). UI Repository. <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20520358&lokasi=lokal>.
- Rahmaningsih, G, Haryanto, B. 2022. Hubungan Paparan PM2,5 terhadap Gangguan Fungsi Paru pada Orang Dewasa di Kecamatan Ciwandan, Kota Cilegon Tahun 2022. *Jurnal Ilmiah Indonesia*. 7 (6). <https://jurnal.syntaxliterate.co.id/index.php/syntax-literate/article/view/8023>
- Smit, D. 2020. Peer-Reviewed Study Documents High Asthma Prevalence and Poor Control Among Children Residing Near Outdoor Air Pollution Sites in Allegheny County. https://breatheproject.org/wp-content/uploads/2022/06/GentileAsthmaPR_110420.pdf
- Steelwatch. 2025. SteelWatch Explainer: Why steelmaking drives climate change – and why it doesn't have to be this way. <https://steelwatch.org/steelwatch-explainers/climate/>
- Świątkowska, B., Szubert, Z., Sobala, W., & Szeszenia-Dąbrowska, N. (2015). Predictors of Lung Cancer among Former Asbestos-Exposed Workers. *Lung Cancer*. 89: 243-248. doi: [10.1016/j.lungcan.2015.06.013](https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2015.06.013).
- Wang, P., Ryberg M., Yang Y., Feng, Kuishuang., Kara, S., Hausc, M., & Cheng, WQ. 2021. Efficiency Stagnation in Global Steel Production Urges Joint Supply- and demand-Side Mitigation Efforts. *Nature Communications*. 12 (1): 2066. doi: [10.1038/s41467-021-22245-6](https://doi.org/10.1038/s41467-021-22245-6).
- Wang, F., Wang, S., Zhang, L., Yang, H., Gao, W., Wu, Q., & Hao, J. 2016. Mercury Mass Flow in Iron and Steel production Process and Its Implications for Mercury Emission Control. *Journal of Environmental Sciences*. 43: 293-301. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.07.019>.

- WHO (World Health Organization). 2020. Pusat Pengobatan Infeksi Saluran Pernapasan Akut Berat. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/searo/indonesia/covid19/who-2019-ncov-pusat-pengobatan-infeksi-saluran-pernapasan-akut-berat.pdf?sfvrsn=3e00f2b7_2
- Worldsteel Association. (n.d.). About steel: What is steel. <https://worldsteel.org/about-steel/facts/steelfacts/#what-is-steel>
- Worldsteel Association. (n.d.). The steelmaking process. <https://worldsteel.org/about-steel/steelmaking-process/>
- Worldsteel Association. (n.d.). World Steel in Figures 2025. <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>
- Xu, W., Shao, M., Yang, Y., Liu, R., Wu, Y., & Zhu, T. 2017. Mercury Emission from Sintering Process in the Iron and Steel industry of China. *Fuel Processing Technology*. 159: 340-344. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.01.033>
- Yang, HH., Lee, KT., Hsieh, YS., Luo, SW., & Huang, RJ. 2015. Emission Characteristics and Chemical Compositions of both Filterable and Condensable Fine Particulate from Steel Plants. *Aerosol Air Qual. Res.* 15: 1672-1680. doi: [10.4209/aaqr.2015.06.0398](https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.06.0398)

Krisis iklim saat ini menjadi salah satu tantangan terbesar bagi umat manusia. Aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Semakin tinggi akumulasi emisi GRK terutama karbon dioksida (CO₂), akan memperkuat efek rumah kaca yang menyebabkan kenaikan suhu global secara signifikan. Kenaikan suhu ini menimbulkan ancaman serius bagi ekosistem dan stabilitas sosial-ekonomi, mulai dari peningkatan frekuensi bencana alam, hingga risiko kesehatan akibat gelombang panas dan polusi udara.

Industri sebagai kontributor kunci emisi GRK nasional. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, total emisi GRK nasional mencapai 1,36 miliar ton CO₂e pada tahun 2023. Dari 34% emisi nasional diantaranya bersumber dari aktivitas industri, yang mencapai 59,85 juta ton CO₂e. Total 36% emisi industri tersebut berasal dari 9 sektor paling lahap energi, yaitu industri baja, semen, besi dan baja, kimia, pupuk, pulp dan kertas, tekstil, kaca dan keramik, makanan dan minuman, hingga otomotif. Industri pada satu sisi bergerak sebagai motor ekonomi nasional dengan 18,9% PDB nasional, 19,3 juta pekerja, dan Rp80,5 triliun penanaman modal asing (PMA) atau 52,3% nasional pada tahun 2022. Maka dari itu, proses mitigasi krisis iklim menjadi suatu tantangan, dan bisa juga menjadi peluang tidak hanya untuk industri namun secara nasional Indonesia (Kemenperin, 2025).

Industri baja bersifat intensif emisi namun di satu sisi juga intensif energi sehingga termasuk industri hard-to-abate. Produksi baja menyumbang 10% dari emisi gas rumah kaca global. (Worldsteel, 2025). Secara nasional, 75% industri baja nasional masih menggunakan teknologi Blast Furnace - Blast Oxygen Furnace (BF-BOF) yang memiliki emisi tinggi, hingga 2,2 ton CO₂eq per ton baja. Teknologi ini masih bergantung pada bahan bakar fosil seperti batu bara kokas untuk pembakaran, sehingga menghasilkan emisi tinggi dan menimbulkan polusi udara di sekitarnya.

Teknologi lain, Electric Arc Furnace (EAF) yang berbasis listrik, menghasilkan emisi yang lebih rendah, mencapai 0,5 ton CO₂eq per ton baja. Namun, penggunaannya di Indonesia masih sangat rendah, hanya 25%. Sayangnya, rencana pengembangan masa depan berdasarkan Global Steel Plant Tracker (GSPT) menunjukkan bahwa teknologi BF-BOF akan terus mendominasi, dengan proyeksi menunjukkan bahwa teknologi ini akan menyumbang 75% dari kapasitas produksi baja negara. Hal ini akan memicu ketergantungan pada bahan bakar fosil yang menghambat proses transisi energi dan memperparah krisis iklim. Di sisi lain, warga yang tinggal di sekitar pabrik baja harus menanggung dampak negatifnya. Debu dan partikel halus yang dihasilkan tidak hanya mencemari udara, tetapi juga membahayakan kesehatan masyarakat.



AKSI EKOLOGI DAN EMANSIPASI RAKYAT

Talavera Office Park, 28th floor
Jl. TB Simatupang Kav 22-26, Jakarta 12430

 aeer.or.id

 info@aeer.or.id

 AEER - AKSI EKOLOGI & EMANSIPASI RAKYAT

 AEER - AKSI EKOLOGI & EMANSIPASI RAKYAT

 @AEER_INFO

 @AEER_INFO