



PENGARUH POLUSI UDARA TERHADAP ANGKA KEMATIAN DINI PROVINSI BANTEN DI DAERAH CILEGON

Leli Maliha Fadilah¹, Rizal Aditya Pratama², Akrom³

Pengembangan Masyarakat Islam, Universitas Islam Negeri Sultan
Maulana Hasannuddin Banten ^{1,2,3}

Email: lelimaliha39@gmail.com¹, rizalkepa18@gmail.com²

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of air pollution on premature mortality rates in Banten Province with a specific focus on Cilegon City as the most densely industrialized area at the western tip of Java Island. The main objectives of this research are to identify the dominant sources of air pollution, estimate the number of premature deaths caused by exposure to pollutants from industrial activities and coal-fired power plants, and formulate effective prevention strategies and environmental law enforcement. This study also seeks to measure the economic impact of premature mortality and healthcare costs borne by the community and government. Furthermore, the research aims to explore the social, educational, and ecological aspects affected by chronic air pollution in the region. By employing secondary data analysis from various environmental research institutions and case studies of law enforcement actions that have occurred, this research is expected to provide evidence-based policy recommendations for central and local governments in protecting the public's right to clean air and preventing thousands of avoidable deaths.

Keywords : Air pollution, Premature mortality, Cilegon

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh polusi udara terhadap angka kematian dini di Provinsi Banten dengan fokus spesifik pada wilayah Kota Cilegon sebagai kawasan industri terpadat di ujung barat Pulau Jawa. Tujuan utama penelitian adalah mengidentifikasi sumber-sumber dominan polusi udara, menghitung estimasi angka kematian dini yang disebabkan oleh paparan polutan dari aktivitas industri dan pembangkit listrik tenaga uap batubara, serta merumuskan strategi pencegahan dan penegakan hukum lingkungan yang efektif. Penelitian ini juga berupaya mengukur dampak ekonomi dari kematian prematur dan biaya kesehatan yang harus ditanggung masyarakat serta pemerintah. Selain itu, penelitian bertujuan mengeksplorasi aspek sosial, pendidikan, dan ekologis

yang terdampak oleh polusi udara kronis di wilayah tersebut. Dengan menggunakan pendekatan analisis data sekunder dari berbagai lembaga riset lingkungan serta studi kasus penegakan hukum yang telah terjadi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan berbasis bukti bagi pemerintah pusat dan daerah dalam melindungi hak masyarakat atas udara bersih dan mencegah ribuan kematian yang sebenarnya dapat dihindari.

Kata Kunci : *Polusi udara, Kematian dini, Cilegon*

PENDAHULUAN

Polusi udara telah menjadi salah satu tantangan lingkungan dan kesehatan masyarakat yang paling serius di era industrialisasi global. Di Indonesia, provinsi-provinsi dengan konsentrasi kawasan industri berat menghadapi risiko pencemaran udara yang jauh lebih tinggi dibandingkan wilayah agraris atau perkotaan non-industri. Provinsi Banten, khususnya Kota Cilegon, dikenal sebagai salah satu pusat industri strategis nasional yang menaungi puluhan pabrik besar di sektor petrokimia, baja, dan pembangkit listrik tenaga uap. (Azhari, 2022) Akumulasi aktivitas industri ini berkontribusi signifikan terhadap pelepasan polutan berbahaya seperti partikulat halus (PM2.5), sulfur dioksida, nitrogen dioksida, dan senyawa organik volatil ke atmosfer wilayah pesisir barat Pulau Jawa.

Cilegon, dengan luas wilayah kurang lebih 175 kilometer persegi dan populasi sekitar 450 ribu jiwa, mengalami beban polusi udara yang tidak proporsional karena keberadaan kompleks industri terintegrasi, termasuk PLTU Suralaya yang merupakan salah satu pembangkit listrik batu bara terbesar di Asia Tenggara. Data pemantauan kualitas udara menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 di beberapa titik di Cilegon secara rutin melampaui batas aman yang ditetapkan oleh standar nasional maupun pedoman Organisasi Kesehatan Dunia, dengan rata-rata tahunan mencapai lebih dari dua kali lipat nilai ambang batas. (Badan Pusat Statistik Kota Cilegon, 2022) Kadar sulfur dioksida di kawasan ring-1 industri juga tercatat dalam kisaran yang berpotensi memicu gangguan sistem pernapasan akut maupun kronis pada populasi di sekitarnya.

Hubungan antara polusi udara dan kematian dini telah terdokumentasi secara luas dalam studi epidemiologi lingkungan. Di Cilegon, estimasi menunjukkan bahwa sekitar 1.470 kematian prematur terjadi setiap tahunnya yang terkait langsung dengan paparan polusi udara dari aktivitas industri dan pembangkit listrik batu bara. Penyebab utama kematian tersebut meliputi penyakit paru obstruktif kronik, kanker paru, penyakit jantung iskemik, serta stroke yang dipicu atau diperparah oleh inflamasi sistemik akibat inhalasi partikulat halus. Data dari fasilitas kesehatan setempat juga menunjukkan lonjakan kunjungan akibat infeksi saluran pernapasan akut yang berkorelasi temporal dengan peningkatan kadar

polutan harian. (Caesarina & Rahmani, 2019)

Memahami secara spesifik kontribusi polusi udara terhadap angka kematian dini di Cilegon menjadi sangat mendesak mengingat kerentanan sosial, ekonomi, dan demografis wilayah ini. Selain beban kesehatan langsung, dampak ekonomi dari kematian dini dan hilangnya produktivitas tenaga kerja diperkirakan mencapai miliaran dolar setiap tahunnya. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis hubungan kausal antara berbagai parameter polusi udara dan tingkat mortalitas prematur di wilayah Cilegon, dengan mempertimbangkan faktor-faktor moderasi seperti usia, penyakit penyerta, serta jarak tempat tinggal dari sumber emisi industri. Pemahaman yang akurat mengenai hubungan ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah bagi kebijakan mitigasi polusi dan perlindungan kesehatan masyarakat yang lebih efektif di Provinsi Banten.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis penelitian studi kasus untuk mengeksplorasi secara mendalam fenomena polusi udara dan dampaknya terhadap angka kematian dini di Kota Cilegon, Provinsi Banten. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk memahami makna, pengalaman, serta persepsi subjektif masyarakat yang tinggal di zona terdampak polusi industri, yang tidak dapat diukur secara kuantitatif semata. Fokus penelitian adalah pada bagaimana warga Cilegon memaknai polusi udara sebagai ancaman terhadap kehidupan, bagaimana mereka mengalami langsung kejadian sakit berat atau kematian anggota keluarga yang dikaitkan dengan paparan polutan harian, serta bagaimana mereka menarasikan upaya bertahan dan perlawanan terhadap sumber-sumber polusi. Desain studi kasus memungkinkan peneliti untuk menyelidiki secara holistik dan kontekstual kasus spesifik yaitu wilayah Cilegon sebagai kawasan industri terpadat di Banten, dengan batasan geografis yang jelas pada tiga kecamatan paling terdampak yaitu Kecamatan Pulomerak, Kecamatan Grogol, dan Kecamatan Citangkil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sumber Utama Polusi Udara di Kota Cilegon, Provinsi Banten

1. PLTU Suralaya

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Suralaya yang terletak di Kecamatan Pulomerak, Kota Cilegon, merupakan sumber polusi udara terbesar dan paling dominan di seluruh wilayah Provinsi Banten. Kompleks pembangkit listrik berbahan bakar batubara ini memiliki kapasitas terpasang sangat besar dengan tujuh unit pembangkit yang beroperasi secara simultan, ditambah dengan proyek pengembangan unit 9 dan 10 berkapasitas tambahan ribuan megawatt yang telah beroperasi penuh. Kebutuhan batubara untuk mengoperasikan seluruh unit ini

mencapai jutaan ton setiap tahunnya, menjadikan PLTU Suralaya sebagai salah satu konsumen batubara terbesar di sektor kelistrikan nasional. Aktivitas pembakaran batubara dalam skala masif ini melepaskan berbagai polutan berbahaya ke atmosfer secara terus-menerus setiap harinya, termasuk partikulat halus berukuran sangat kecil yang mampu menembus jauh ke dalam saluran pernapasan manusia. Cerobong asap PLTU Suralaya yang menjulang tinggi menyemburkan gas buang yang mengandung sulfur dioksida, nitrogen oksida, merkuri, serta abu terbang yang kaya akan logam berat beracun ke lapisan udara permukaan yang langsung terhirup oleh masyarakat sekitar.

2. Industri Baja

Kota Cilegon yang dikenal sebagai kawasan industri terbesar di ujung barat Pulau Jawa menjadi rumah bagi puluhan pabrik pengolahan baja, petrokimia, serta industri turunannya yang tersebar di berbagai kecamatan. Kompleks industri baja terintegrasi di kawasan Krakatau Industrial Estate beroperasi dengan proses peleburan bijih besi, pencairan besi kasar, serta pabrik baja lembaran dan baja batangan yang secara kolosal menghasilkan polutan dalam jumlah signifikan. Proses tanur tinggi pada pabrik baja melepaskan karbon monoksida, sulfur dioksida, serta partikulat debu logam yang terbawa angin hingga ke radius puluhan kilometer dari titik sumber. (Candrasari et al., 2023) Selain itu, industri petrokimia yang memproduksi bahan baku plastik, pupuk, serta turunan minyak bumi lainnya turut menyumbang emisi senyawa organik volatil, benzena, serta hidrokarbon yang reaktif dan berbahaya bagi kesehatan. Jarak antara kawasan industri dengan pemukiman warga yang hanya dipisahkan oleh pagar atau jalan raya membuat ribuan keluarga setiap harinya terpapar langsung oleh campuran gas buang industri tanpa adanya zona penyangga yang memadai.

3. Aktivitas Smelter

Selain PLTU Suralaya yang dikelola perusahaan negara, kawasan Cilegon juga dipadati oleh puluhan pabrik pembangkit listrik milik swasta yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan energi industri secara mandiri. Smelter-smelter pengolahan mineral seperti nikel dan bijih besi menggunakan tanur listrik atau tanur putar yang beroperasi tanpa henti selama dua puluh empat jam penuh dengan konsumsi energi sangat besar dan emisi yang tidak kalah tinggi dibandingkan pembangkit utama. Pembangkit listrik captive power ini biasanya berlokasi di dalam area pabrik sehingga cerobong asapnya berada sangat dekat dengan lingkungan kerja karyawan dan permukiman di sekitar kawasan industri. Gas buang dari smelter mengandung sulfur dioksida dalam konsentrasi tinggi serta partikulat halus yang tidak dilengkapi sistem pengendalian modern seperti electrostatic precipitator atau wet scrubber yang memadai. Akumulasi dari puluhan cerobong pabrik ini yang tersebar dari Kecamatan Cilegon hingga perbatasan dengan Kabupaten Serang menciptakan lapisan polutan tebal yang menggantung di atas wilayah tersebut sepanjang tahun.

(Hanafi & Fitrianto, 2022)

4. Transportasi Logistik

Jalur darat di Cilegon menjadi urat nadi distribusi material industri seperti batubara, bijih besi, baja setengah jadi, serta bahan kimia yang diangkut menggunakan truk-truk besar dan kontainer bersumbu banyak setiap harinya. Ribuan kendaraan berat tersebut melintasi jalan-jalan utama seperti Jalan Raya Anyer, Jalan Raya Merak, serta akses menuju Pelabuhan Merak yang merupakan gerbang utama penyebrangan dari Pulau Jawa ke Pulau Sumatra. Truk batubara yang sering melintas dengan bak terbuka menyisirkan debu hitam di sepanjang jalan yang kemudian beterbangan menjadi partikulat terhisap oleh pengguna jalan dan penduduk yang bermukim di bantaran jalur logistik tersebut. Kendaraan bermotor tua dengan teknologi mesin rendah serta bahan bakar diesel berkualitas rendah menghasilkan emisi jelaga hitam pekat yang mengandung karbon hitam, salah satu komponen polutan paling berbahaya bagi sistem pernapasan manusia. Aktivitas bongkar muat di Pelabuhan Merak yang merupakan pelabuhan penyeberangan tersibuk di Indonesia juga menyumbang emisi dari mesin-mesin kapal yang tetap menyala selama proses sandar dan keberangkatan.

5. Kawasan Permukiman Padat

Meskipun kontribusinya jauh lebih kecil dibandingkan sektor industri, aktivitas rumah tangga dan pembakaran sampah terbuka di permukiman padat penduduk turut memperparah beban polusi udara yang sudah sangat tinggi di Cilegon. Banyak warga di daerah yang belum terjangkau sistem pengelolaan sampah terpadu masih membakar sampah rumah tangga, sampah plastik, serta sisa kebun di halaman atau tepi jalan karena keterbatasan akses ke tempat pembuangan akhir. Pembakaran sampah pada suhu rendah ini menghasilkan dioksin, furan, serta partikulat hitam yang jauh lebih beracun dibandingkan pembakaran sempurna dalam insinerator bersuhu tinggi. (Kristianto & Nadapdap, 2021) Selain itu, usaha-usaha mikro kecil seperti bengkel las, bengkel cat kendaraan, serta industri rumahan berbahan bakar kayu atau batu bara juga tersebar di antara pemukiman dan menambah keragaman sumber polusi lokal. Penggunaan kendaraan bermotor pribadi oleh masyarakat yang bekerja di kawasan industri juga berkontribusi pada peningkatan konsentrasi karbon monoksida dan hidrokarbon terutama pada jam-jam sibuk pagi dan sore hari ketika aktivitas komuter mencapai puncaknya.

B. Angka Kematian Dini Akibat Polusi Udara di Cilegon

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Center for Research on Energy and Clean Air atau CREA, sebuah lembaga riset independen asal Finlandia yang fokus pada energi bersih dan kualitas udara, kompleks Pembangkit Listrik Tenaga Uap Suralaya di Cilegon diperkirakan bertanggung jawab atas sekitar 1.470 kasus kematian dini setiap tahunnya. Angka ini merupakan hasil dari pemodelan sebaran polutan yang mencakup partikulat halus berukuran sangat kecil seperti

PM2.5, sulfur dioksida, nitrogen dioksida, serta ozon permukaan yang berasal dari aktivitas pembakaran batubara di tujuh unit pembangkit yang telah beroperasi selama puluhan tahun. Polutan-polutan ini tersebar tidak hanya di wilayah Cilegon dan sekitarnya, tetapi juga terbawa angin hingga mencapai kawasan Jabodetabek, mengingat lokasi PLTU yang berada di pesisir barat Pulau Jawa dengan arah angin dominan menuju timur. Dalam skenario terburuk jika tidak ada pengendalian emisi yang memadai, angka kematian dini ini dapat melonjak hingga mencapai 1.640 jiwa per tahun.

Proyek perluasan PLTU Suralaya dengan penambahan Unit 9 dan 10 yang masing-masing berkapasitas 1.000 megawatt menjadi perhatian serius para pegiat lingkungan dan peneliti kesehatan masyarakat. Laporan CREA tahun 2023 secara spesifik memprediksi bahwa jika kedua unit baru ini beroperasi penuh, kontribusi terhadap angka kematian dini akan tetap berada pada kisaran yang mengkhawatirkan, dengan estimasi tambahan kematian prematur yang signifikan setiap tahunnya. Pengoperasian penuh Unit 9 dan 10 yang ditargetkan rampok pada April 2025 semakin mempertegas bahwa kawasan Cilegon akan menghadapi beban polusi yang lebih berat dibandingkan kondisi saat ini. Para peneliti menekankan bahwa tanpa penerapan teknologi pengendalian emisi yang ketat sesuai dengan standar internasional, penambahan kapasitas pembangkit ini hanya akan memperparah krisis kesehatan yang sudah berlangsung lama di wilayah Banten. Kehadiran unit-unit baru ini secara efektif akan menggandakan kapasitas pembangkitan sekaligus menggandakan potensi dampak fatal terhadap masyarakat di sekitar kawasan industri. (Martin et al., 2023)

Penelitian yang sama dari CREA juga mengungkapkan bahwa situasi ini sebenarnya tidak sepenuhnya tanpa harapan karena terdapat potensi besar untuk menyelamatkan ribuan nyawa melalui penerapan standar emisi yang lebih ketat. Apabila pemerintah secara konsisten menegakkan batasan polusi nasional dan mewajibkan pemasangan teknologi pengendalian polutan seperti electrostatic precipitator, flue gas desulfurization, dan selective catalytic reduction pada setiap unit pembangkit, maka diperkirakan akan terjadi pencegahan antara 97 hingga 268 kasus kematian setiap tahunnya. Selain menyelamatkan nyawa, penegakan standar ini juga akan mencegah 141 hingga 300 kunjungan ke unit gawat darurat rumah sakit serta mengurangi 17 hingga 236 kasus asma baru pada anak-anak yang tinggal di zona terdampak. Angka-angka ini menunjukkan bahwa intervensi kebijakan yang tepat dan implementasi teknologi pengendalian polusi yang memadai bukan sekadar upaya lingkungan, melainkan tindakan penyelamatan nyawa massal yang dampaknya dapat dirasakan langsung oleh masyarakat di tingkat tapak.

Kematian dini yang disebabkan oleh polusi udara dari PLTU Suralaya tidak hanya menimbulkan penderitaan kemanusiaan, tetapi juga membawa konsekuensi ekonomi yang sangat besar bagi negara dan masyarakat. CREA memperkirakan bahwa kerugian ekonomi yang timbul akibat kematian prematur dan biaya

perawatan kesehatan di wilayah Cilegon dan sekitarnya mencapai angka sekitar 1,04 miliar dolar Amerika Serikat setiap tahunnya, atau setara dengan lebih dari 14 triliun rupiah. Angka ini mencakup hilangnya produktivitas tenaga kerja karena kematian dini, biaya pengobatan penyakit seperti infeksi saluran pernapasan akut, penyakit paru obstruktif kronik, kanker paru, serta penyakit kardiovaskular yang dipicu oleh paparan polutan jangka panjang. Dalam skala yang lebih luas, Menteri Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi pada tahun 2024 mengungkapkan bahwa pemerintah harus mengeluarkan biaya mencapai 38 triliun rupiah untuk menangani beban penyakit masyarakat yang disebabkan oleh polusi udara.

Dalam perspektif yang lebih makro, sebuah riset kolaboratif yang diterbitkan pada bulan November 2025 oleh CREA bersama dengan CELIOS dan Trend Asia mengungkapkan data yang sungguh mengkhawatirkan untuk skala nasional. Penelitian yang diberi judul Toxic Twenty atau Dua Puluh Beracun ini mengidentifikasi bahwa terdapat 20 PLTU batubara paling berbahaya di Indonesia yang secara kolektif berpotensi menyebabkan hingga 156.000 kasus kematian dini apabila terus beroperasi tanpa pengendalian memadai hingga tahun 2050. (Mawardi et al., 2022) Dari dua puluh pembangkit tersebut, PLTU Suralaya di Banten masuk dalam daftar utama bersama dengan PLTU Paiton, Cirebon, Tanjung Jati B, dan Cilacap. Kerugian ekonomi kumulatif dari operasional dua puluh PLTU ini diproyeksikan mencapai 109 miliar dolar Amerika Serikat atau sekitar 1,8 kuadriliun rupiah hingga pertengahan abad ini. Data-data ini memperkuat urgensi bagi pemerintah untuk segera melakukan pensiun dini terhadap pembangkit-pembangkit yang sudah berusia tua dan secara bertahap beralih ke sumber energi terbarukan yang lebih bersih demi melindungi kesehatan masyarakat.

C. Pengaruh Polusi Udara

1. Aspek Kesehatan

Pengaruh paling langsung dan mematikan dari polusi udara di Cilegon adalah terhadap kesehatan masyarakat, yang tercermin dari melonjaknya angka kesakitan dan kematian dini setiap tahunnya. Paparan jangka panjang terhadap partikulat halus atau PM2.5 yang berasal dari cerobong PLTU Suralaya dan pabrik-pabrik baja di kawasan industri telah terbukti menyebabkan peningkatan kasus infeksi saluran pernapasan akut, penyakit paru obstruktif kronik, asma bronkial, hingga kanker paru di kalangan warga yang bermukim di kecamatan-kecamatan ring satu seperti Pulomerak dan Grogol. Selain gangguan pernapasan, polusi udara juga memicu penyakit kardiovaskular seperti hipertensi, penyakit jantung iskemik, dan stroke karena partikel halus yang masuk ke aliran darah melalui paru-paru dapat memicu peradangan sistemik dan mempercepat pengerasan pembuluh darah. Anak-anak yang masih dalam masa pertumbuhan paru menjadi kelompok paling rentan, di mana paparan polusi kronis dapat menghambat perkembangan kapasitas paru secara permanen dan meningkatkan risiko kematian dini saat mereka memasuki

usia dewasa. Ibu hamil yang terpapar polutan berat juga menghadapi risiko lebih tinggi mengalami keguguran, kelahiran prematur, serta bayi dengan berat lahir rendah yang selanjutnya rentan terhadap berbagai penyakit kronis sepanjang hidupnya.

2. Aspek Ekonomi

Polusi udara di Cilegon telah menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar, terutama melalui menurunnya produktivitas tenaga kerja dan melonjaknya biaya perawatan kesehatan yang harus ditanggung baik oleh pekerja itu sendiri maupun perusahaan tempat mereka bekerja. Karyawan pabrik yang setiap hari terpapar polutan berat dalam perjalanan menuju tempat kerja maupun selama jam kerja di lingkungan industri seringkali mengalami penurunan fungsi paru yang mengakibatkan mereka lebih mudah lelah, sering absen karena sakit, dan pada akhirnya mengurangi output produksi secara signifikan. (Nastiti & Hardiningsih, 2022) Kerugian ekonomi akibat kematian dini yang mencapai sekitar 1,04 miliar dolar Amerika Serikat atau lebih dari 14 triliun rupiah setiap tahunnya mencerminkan hilangnya kontribusi produktif dari para pekerja yang meninggal prematur padahal mereka seharusnya masih berada dalam usia produktif. Perusahaan juga harus mengeluarkan biaya tambahan yang tidak sedikit untuk menyediakan alat pelindung diri, melakukan pemeriksaan kesehatan berkala bagi karyawan yang bekerja di area dengan kualitas udara buruk, serta menanggung klaim asuransi kesehatan yang semakin membengkak dari tahun ke tahun. Dalam skala yang lebih luas, biaya yang harus dikeluarkan pemerintah untuk mengobati penyakit akibat polusi mencapai puluhan triliun rupiah setiap tahunnya, uang yang seharusnya dapat dialokasikan untuk pembangunan infrastruktur, pendidikan, atau program pengentasan kemiskinan.

3. Aspek Sosial

Kehidupan sosial masyarakat Cilegon yang bermukim di sekitar kawasan industri telah berubah secara fundamental akibat polusi udara yang terus-menerus hadir setiap hari tanpa pernah benar-benar hilang. Aktivitas luar ruangan yang dulu menjadi kebiasaan warga seperti anak-anak bermain di halaman, ibu-ibu berolahraga pagi di taman, atau warga bercengkerama di teras rumah kini harus dibatasi atau bahkan ditinggalkan sama sekali karena kualitas udara yang tidak sehat hampir sepanjang tahun. Banyak warga yang terpaksa menghabiskan sebagian besar waktu mereka di dalam ruangan dengan jendela dan pintu tertutup rapat, menggunakan pembersih udara yang biaya listriknya tidak murah, serta mengeluarkan uang tambahan untuk membeli masker berkualitas tinggi yang harus dipakai setiap kali keluar rumah. (Sudjoko, 2021) Anak-anak sekolah di daerah seperti Kecamatan Pulomerak seringkali tidak dapat mengikuti kegiatan olahraga atau upacara bendera di lapangan terbuka saat konsentrasi polutan sedang tinggi, sehingga pengalaman masa kecil yang sehat dan normal menjadi sesuatu yang

langka di wilayah ini. Stres psikologis yang timbul dari ketakutan terus-menerus akan dampak kesehatan jangka panjang, kekhawatiran terhadap masa depan anak-anak, serta rasa tidak berdaya menghadapi polusi yang disebabkan oleh industri besar juga telah menjadi beban mental kolektif yang menggerogoti kualitas hidup masyarakat secara perlahan namun pasti.

4. Aspek Lingkungan

Ekosistem darat dan perairan di sekitar Cilegon turut mengalami degradasi serius akibat deposisi polutan udara yang jatuh kembali ke permukaan tanah dan badan air melalui proses hujan asam maupun sedimentasi kering. Sulfur dioksida dan nitrogen oksida yang dilepaskan ke atmosfer dari pembakaran batubara bereaksi dengan air hujan membentuk asam sulfat dan asam nitrat, yang kemudian menyebabkan tanah di sekitar kawasan industri menjadi lebih asam sehingga mengurangi kesuburan dan mengganggu kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi penting dari dalam tanah. Hujan asam yang turun secara periodik di wilayah Cilegon dan sekitarnya telah merusak tajuk pohon-pohon di hutan lindung maupun di permukiman warga, menyebabkan daun menguning, pertumbuhan terhambat, dan dalam kasus yang parah menyebabkan kematian massal pepohonan yang seharusnya berfungsi sebagai penyaring alami polusi udara. (Umah & Gusmira, 2024) Perairan Teluk Banten yang menjadi muara akhir dari aliran sungai-sungai yang melintasi kawasan industri juga mengalami peningkatan keasaman yang mengganggu siklus hidup biota laut seperti ikan, kerang, dan terumbu karang yang menjadi sumber mata pencaharian nelayan setempat. Logam berat seperti merkuri, timbal, dan arsenik yang terkandung dalam abu terbang dari PLTU juga mencemari tanah dan air, kemudian masuk ke dalam rantai makanan melalui tanaman yang tumbuh di tanah terkontaminasi dan ikan yang hidup di perairan tercemar, sehingga berdampak pada kesehatan manusia yang mengonsumsi bahan pangan dari wilayah tersebut.

5. Aspek Pendidikan

Anak-anak usia sekolah di Cilegon menghadapi ancaman ganda dari polusi udara karena selain dampak langsung terhadap kesehatan fisik mereka, polusi juga secara signifikan mengganggu proses belajar dan perkembangan kognitif yang sangat menentukan masa depan mereka. Penelitian kesehatan lingkungan telah menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap polutan udara, terutama partikulat halus dan senyawa karbon monoksida, dapat mengganggu perkembangan otak anak karena berkurangnya pasokan oksigen bersih serta peradangan sistemik yang mempengaruhi fungsi saraf pusat. Akibatnya, anak-anak yang tumbuh di daerah dengan polusi udara berat seperti Cilegon berisiko mengalami penurunan kemampuan konsentrasi di kelas, gangguan memori jangka pendek, serta pencapaian akademik yang lebih rendah dibandingkan dengan anak-anak seusia mereka yang tinggal di wilayah dengan udara lebih bersih. Tingginya

angka absensi sekolah akibat anak-anak yang sering sakit karena infeksi saluran pernapasan akut atau asma yang kambuh juga menyebabkan mereka tertinggal dalam materi pelajaran dan pada akhirnya menurunkan capaian belajar secara keseluruhan. Sekolah-sekolah yang berlokasi di zona terdampak polusi tinggi seringkali tidak dapat membuka ruang kelas secara optimal karena guru terpaksa menutup semua ventilasi saat kualitas udara buruk, sehingga sirkulasi udara di dalam ruangan menjadi buruk dan suasana belajar menjadi tidak nyaman. (Wahyudi, 2022)

Tabel 1. Temuan Media dengan Penelitian

Temuan	Fokus Keterkaitan dengan Penelitian	Sumber
Estimasi Kematian Dini PLTU Suralaya	Penelitian ini menyebutkan bahwa PLTU Suralaya menyebabkan sekitar 1.470 kematian dini per tahun di Cilegon dengan kerugian ekonomi mencapai 14 triliun rupiah. Temuan dari laporan CREA yang dipublikasikan melalui Trend Asia secara langsung memvalidasi angka tersebut, sekaligus mengonfirmasi bahwa polutan seperti PM2.5 dan sulfur dioksida dari pembangkit listrik berbasis batubara ini menjadi kontributor utama tingginya angka mortalitas prematur di kawasan industri Banten.	Trend Asia: https://trendasia.org/pengendalian-polusi-pltu-suralaya-cegah-1-000-kematian-dini/
Daftar PLTU Paling Berbahaya ("Toxic Twenty")	Penelitian ini menempatkan persoalan Cilegon dalam konteks nasional dengan merujuk pada urgensi pensiun dini PLTU. Laporan "Toxic Twenty" yang dimuat di Katadata mengonfirmasi bahwa PLTU Suralaya termasuk dalam 20 pembangkit listrik batubara paling berbahaya di Indonesia, sehingga memperkuat argumentasi penelitian bahwa intervensi kebijakan tidak boleh hanya bersifat lokal tetapi harus menjadi prioritas nasional untuk melindungi hak masyarakat atas udara bersih.	Katadata: https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/ekonomi-sirkular/6909ba41f38b1/rise-t-crea-celios-dan-trend-asia-pltu-berisiko-sebabkan-156-ribu-kematian
Proyeksi Nasional hingga 2050	Penelitian ini merekomendasikan percepatan transisi energi dari batubara ke sumber terbarukan sebagai strategi pencegahan kematian dini jangka panjang. Proyeksi dari laporan yang sama di Katadata menunjukkan bahwa jika 20 PLTU paling berbahaya terus beroperasi tanpa pengendalian memadai, akan terjadi 156.000 kematian dini kumulatif hingga tahun 2050. Data ini memberikan landasan ilmiah bagi rekomendasi penelitian tentang perlunya pensiun dini PLTU Suralaya.	Katadata: https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/ekonomi-sirkular/6909ba41f38b1/rise-t-crea-celios-dan-trend-asia-pltu-berisiko-sebabkan-156-ribu-kematian
Emisi Karbon PLTU Suralaya	Penelitian ini mengidentifikasi PLTU Suralaya sebagai sumber polusi terbesar di Cilegon. Data dari Databoks yang bersumber dari laporan "Toxic Twenty" menunjukkan bahwa PLTU Suralaya	Databoks: https://databoks.katadata.co.id/lingkungan/statistik/69255e644d0d2/suralaya-

	menghasilkan emisi karbon sebesar 28,30 juta ton CO ₂ per tahun, menjadikannya yang tertinggi di antara 38 PLTU di wilayah Jawa-Bali dan Sumatra. Temuan ini memperkuat analisis penelitian tentang mengapa Cilegon mengalami beban polusi yang tidak proporsional dibandingkan wilayah lain di Provinsi Banten.	pltu-penghasil-emisi-terbesar-di-jawa-bali-dan-sumatra
Perbandingan Dampak di Provinsi Banten	Penelitian ini membuka latar belakang dengan menyebut bahwa Provinsi Banten menghadapi risiko polusi tinggi. Data dari CNN Indonesia yang mengutip studi CREA dan IESR menunjukkan bahwa Banten menyumbang sekitar 2.000 kematian per tahun akibat polusi PLTU batu bara, menjadikannya provinsi dengan dampak kematian tertinggi kedua setelah Jawa Barat. Temuan ini memberikan perspektif makro bahwa masalah polusi di Cilegon bukanlah kasus terisolasi, melainkan bagian dari darurat kesehatan masyarakat di seluruh Provinsi Banten.	CNN Indonesia: https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20230831150208-199-992999/deret-provinsi-paling-kena-dampak-mematikan-polusi-jabar-juara-1

D. Strategi Pencegahan Kematian Dini

1. Penerapan Teknologi Pengendalian Emisi

Strategi paling fundamental dalam pencegahan kematian dini adalah penerapan sistem pengendalian polusi mutakhir pada setiap cerobong pembangkit listrik dan pabrik di Cilegon. Teknologi yang tersedia saat ini meliputi Electrostatic Precipitator atau ESP yang mampu menyaring partikulat debu dari gas buang hingga 95 hingga 99,8 persen, Flue Gas Desulfurization atau FGD yang dapat menurunkan emisi sulfur dioksida hingga 90 persen, serta Low NO_x Burner dan Selective Catalytic Reduction untuk mereduksi nitrogen oksida. PLTU Suralaya Unit 9 dan 10 yang baru telah dilengkapi dengan teknologi Ultra Super Critical yang membuat proses pembakaran batu bara menjadi lebih efisien dan bersih. Apabila seluruh unit pembangkit lama di kawasan Cilegon diwajibkan melakukan retrofit atau pemasangan ulang teknologi pengendalian emisi yang setara, maka diperkirakan antara 97 hingga 268 kasus kematian dini dapat dicegah setiap tahunnya. Selain itu, setiap industri wajib memasang Continuous Emission Monitoring System atau CEMS pada cerobong mereka agar data emisi dapat dipantau secara real-time oleh pemerintah dan publik.

2. Penguatan Pemantauan Kualitas Udara

Tanpa data yang akurat, tidak mungkin dilakukan intervensi yang tepat waktu untuk melindungi masyarakat dari paparan polusi berbahaya. Dinas Lingkungan Hidup Kota Cilegon telah merencanakan program pemantauan berkala terhadap kualitas udara di kawasan padat penduduk dan kawasan industri sebagai bagian dari prioritas kerja tahun 2025. Strategi ini perlu diperluas dengan pemasangan

sensor pemantau partikulat halus atau PM2.5, sulfur dioksida, dan nitrogen dioksida di setiap kelurahan yang berbatasan langsung dengan kawasan industri. Sistem ini harus terintegrasi ke pusat kendali yang dapat memberikan peringatan dini kepada masyarakat melalui sirine, pesan singkat, atau aplikasi ponsel ketika kadar polutan melampaui ambang batas aman. (Azhari, 2022) Dengan peringatan dini, warga dapat mengurangi aktivitas di luar ruangan, menutup ventilasi rumah, atau menggunakan alat pelindung diri seperti masker berkualitas tinggi saat kadar polusi sedang tinggi. Sistem pemantauan real-time juga memungkinkan otoritas lingkungan untuk segera menindak industri yang emisinya melonjak di atas standar yang ditetapkan.

3. Transisi dari Batubara ke Energi Bersih

Pencegahan kematian dini dalam jangka panjang hanya dapat dicapai dengan mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik batubara secara permanen. Pemerintah pusat telah menargetkan penghentian total PLTU pada tahun 2056, namun target ini dianggap terlalu lambat mengingat tingkat kematian yang sudah terjadi saat ini. Di wilayah Banten, potensi energi terbarukan seperti tenaga surya di daerah pesisir dan mikrohidro di kawasan pegunungan belum tergarap secara serius. Alternatif yang lebih bersih dan dapat segera diimplementasikan adalah penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap atau PLTGU yang menggunakan bahan bakar gas alam, yang emisinya jauh lebih rendah dibandingkan batubara. PT Pertamina telah mulai memasok gas bumi ke PLTGU Cilegon sejak November 2024 dengan volume yang cukup signifikan untuk memenuhi kebutuhan listrik industri di wilayah Banten. Selain itu, pengembangan pembangkit listrik tenaga surya berbasis komunitas seperti yang telah berhasil dilakukan di Pulau Sangiang dapat menjadi model transisi energi yang berkeadilan dan tidak merusak lingkungan.

4. Penegakan Hukum

Teknologi dan kebijakan tidak akan berarti tanpa penegakan hukum yang konsisten terhadap industri yang melanggar baku mutu emisi. Dinas Lingkungan Hidup Kota Cilegon mengoperasikan Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup atau PROPER yang memberikan penilaian dan pembinaan kepada perusahaan untuk mencapai peringkat Hijau, Biru, atau Emas. Program ini perlu diperkuat dengan insentif bagi perusahaan berkinerja lingkungan baik dan sanksi tegas bagi yang melanggar, termasuk penghentian sementara operasional jika emisi melebihi ambang batas dalam periode tertentu. Insiden pencemaran limbah di kawasan Cikande yang terjadi beberapa waktu lalu menjadi contoh nyata bagaimana kelalaian satu entitas dapat berdampak sistemik, mencemari area sekitar, dan menyebabkan kerugian ekonomi lintas sektor termasuk tertahannya produk ekspor. Penegakan hukum yang tegas akan menciptakan keadilan ekologis bagi masyarakat yang tinggal di zona terdampak sekaligus

mendorong industri untuk berinvestasi dalam teknologi ramah lingkungan karena kesadaran bahwa kinerja lingkungan kini menjadi bagian dari penilaian keberlanjutan bisnis di mata publik dan investor. (Badan Pusat Statistik Kota Cilegon, 2022)

5. Perlindungan Masyarakat

Seluruh upaya pengendalian polusi dari sisi sumber tidak akan sempurna tanpa strategi perlindungan langsung terhadap masyarakat yang paling rentan terhadap dampak polusi udara. Anak-anak, lansia, ibu hamil, serta penderita penyakit paru kronis dan jantung merupakan populasi dengan risiko tertinggi mengalami kematian dini akibat paparan polutan. Pemerintah Kota Cilegon perlu memastikan bahwa fasilitas kesehatan di kecamatan-kecamatan yang berbatasan langsung dengan kawasan industri seperti Kecamatan Pulomerak dan Kecamatan Grogol memiliki kemampuan deteksi dini dan tatalaksana penyakit pernapasan akut dan penyakit kardiovaskular yang memadai. Program edukasi dan sosialisasi lingkungan hidup yang dijadwalkan Dinas Lingkungan Hidup pada bulan April hingga Juni 2025 dapat dimanfaatkan untuk mengajarkan masyarakat tentang perilaku perlindungan diri seperti penggunaan masker berkualitas tinggi pada saat polusi tinggi, menjaga ventilasi rumah tetap tertutup saat kualitas udara buruk, dan mengenali gejala awal gangguan pernapasan yang memerlukan pertolongan medis segera. Selain itu, perluasan Ruang Terbuka Hijau atau RTH melalui program penghijauan di area publik, sekolah, dan tempat ibadah tidak hanya berfungsi sebagai paru-paru kota tetapi juga sebagai penyaring alami partikulat halus yang dapat mereduksi paparan polusi hingga tingkat tertentu sebelum mencapai pemukiman warga.

E. Penegakan Hukum

1. Tindakan Tegas

Langkah penegakan hukum yang paling nyata dan tegas di wilayah Banten terjadi pada pertengahan tahun 2025, ketika Kementerian Lingkungan Hidup melakukan inspeksi mendadak dan menyegel tiga perusahaan peleburan baja di Kawasan Industri Modern Cikande, Kabupaten Serang, yang berbatasan langsung dengan wilayah Cilegon. Ketiga perusahaan yang disegel adalah PT Citra Baru Steel, PT Crown Steel, dan PT Sinta Baja Jaya, yang terbukti membuang emisi langsung ke udara tanpa sistem pengendalian yang memadai sebagaimana diwajibkan oleh peraturan perundang-undangan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Hasil investigasi menunjukkan bahwa PT Crown Steel sebenarnya telah diperingatkan sejak tahun 2023, namun tidak menindaklanjuti rekomendasi perbaikan dari kementerian, sementara PT Sinta Baja Jaya yang memiliki 12 tungku peleburan sama sekali tidak memiliki cerobong asap sehingga seluruh emisi dari proses produksinya dilepaskan bebas ke lingkungan tanpa pengolahan apapun. Tindakan penyegelan ini merupakan bentuk komitmen nyata

negara dalam menegakkan hukum lingkungan secara adil, di mana Wakil Menteri Lingkungan Hidup secara langsung turun ke lapangan dan menyatakan bahwa pengawasan tidak boleh bersifat administratif semata, tetapi harus nyata dan menyeluruh untuk melindungi hak publik atas udara bersih. (Hanafi & Fitrianto, 2022)

2. Penyegehan Tambahan dan Sanksi Pidana

Komitmen penegakan hukum lingkungan di Banten terus berlanjut dengan tindakan penyegehan terhadap dua pabrik peleburan logam lainnya di Kabupaten Serang pada bulan Juni 2025, yaitu PT Jaya Abadi Steel di Desa Beberan, Ciruas, dan PT Luckione Environment Science Indonesia di kawasan yang sama. Menteri Lingkungan Hidup Hanif Faisol Nurofiq secara langsung melakukan inspeksi lapangan di luar jam kerja normal untuk memastikan tidak ada ruang kompromi bagi industri yang melanggar baku mutu lingkungan, di mana kedua pabrik tersebut terbukti mengeluarkan emisi pekat dalam volume besar tanpa pengelolaan yang memadai. Lebih dari sekadar sanksi administratif, Deputy Penegakan Hukum Kementerian Lingkungan Hidup menegaskan bahwa unsur pidana lingkungan hidup sangat kuat dalam kasus-kasus ini, terutama karena PT Luckione Environment Science Indonesia sebelumnya telah direkomendasikan untuk diproses secara hukum pada tahun 2023 namun tetap melanjutkan kegiatan operasionalnya tanpa perbaikan. Tindakan penyegehan ini disertai dengan pengambilan sampel udara dan limbah untuk analisis forensik lingkungan, dan ditemukan pula praktik pembuangan limbah bahan berbahaya dan beracun secara ilegal, yang dapat diancam dengan sanksi pidana penjara dan denda maksimal sesuai dengan ketentuan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

3. Peran Masyarakat

Penegakan hukum lingkungan di Cilegon tidak hanya datang dari aparat pemerintah, tetapi juga digerakkan oleh kesadaran hukum masyarakat yang semakin meningkat melalui jalur pengadilan. Sebanyak 52 warga dari Kelurahan Samang Raya dan Warnasari, Kecamatan Citangkil, Kota Cilegon secara resmi mengajukan gugatan lingkungan hidup terhadap PT Chandra Asri Alkali di Pengadilan Negeri Serang dengan nomor perkara 45/Pdt.Sus-LH/2025/PN SRG, yang menyorot pada dugaan pelanggaran prosedur perizinan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan dalam proyek industri kimia bernama Proyek Alkali. (Martin et al., 2023) Warga melalui kuasa hukumnya menyatakan bahwa Berita Acara Pembahasan Peran Serta Masyarakat yang ditandatangani pada 31 Mei 2024 dianggap tidak sah dan batal demi hukum karena tidak mewakili aspirasi warga secara utuh serta proses pembahasannya dinilai tidak transparan dan tidak partisipatif. Sidang pertama yang dijadwalkan pada 17 April 2025 hanya dihadiri pihak penggugat karena pihak tergugat tidak hadir, sehingga sidang dilanjutkan

dengan agenda pembuktian. Gugatan ini menjadi preseden penting bahwa masyarakat memiliki hak untuk menuntut akuntabilitas perusahaan dan pemerintah dalam menjaga kesehatan warga dan kelestarian lingkungan di tengah aktivitas industri yang intens di Cilegon.

4. Penertiban Tambang Ilegal

Penegakan hukum lingkungan di Banten juga mencakup sektor pertambangan yang selama ini menjadi sumber kerusakan lingkungan dan pencemaran udara dari debu serta aktivitas pengolahan mineral. Pemerintah Provinsi Banten bersama aparat penegak hukum mulai menutup paksa aktivitas pertambangan galian C ilegal yang teridentifikasi di 43 titik di seluruh provinsi, termasuk di wilayah Kota Cilegon seperti di kawasan Bagendung yang permukiman warganya terdampak langsung oleh bekas tambang pasir. Selain penutupan paksa, pemerintah juga memberlakukan moratorium atau penghentian sementara penerbitan izin baru sebagai langkah tegas pengendalian kerusakan lingkungan dan pencegahan bencana banjir yang kerap terjadi akibat aktivitas penambangan yang tidak terkontrol. Kapolda Banten secara khusus mengingatkan para pelaku usaha tambang untuk memenuhi kewajiban reklamasi lahan pasca-tambang, karena hal ini dinilai sangat penting untuk mencegah kerusakan lingkungan lebih lanjut dan potensi bencana yang mengancam keselamatan masyarakat di sekitar area pertambangan. Penegakan di sektor pertambangan ini menunjukkan bahwa upaya pengendalian polusi udara harus dilakukan secara holistik, tidak hanya dari sumber industri besar tetapi juga dari aktivitas ekstraktif yang seringkali luput dari perhatian publik.

5. Harmonisasi Regulasi Daerah

Aspek krusial dalam penegakan hukum lingkungan di Cilegon adalah penguatan kerangka regulasi daerah yang berpihak pada hak masyarakat atas lingkungan yang sehat. Kantor Wilayah Kementerian Hukum Banten melalui Divisi Peraturan Perundang-undangan dan Pembinaan Hukum secara aktif mendampingi Pemerintah Kota Cilegon dalam penyusunan Rancangan Peraturan Daerah tentang Pengelolaan Sampah yang berlandaskan Hak Asasi Manusia, di mana dalam konsiderans menimbang ditegaskan urgensi pengelolaan sampah akibat pertumbuhan penduduk dan peningkatan kegiatan ekonomi yang selaras dengan Pasal 28H ayat 1 Undang-Undang Dasar 1945 yang menjamin hak setiap orang untuk bertempat tinggal dan mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat. (Umah & Gusmira, 2024) Raperda ini juga memberikan jaminan perlindungan hak masyarakat, di mana warga tidak hanya berhak menerima pelayanan pengelolaan lingkungan yang baik tetapi juga berhak memperoleh informasi yang benar dan tepat waktu, berpartisipasi dalam pengawasan, bahkan mendapatkan kompensasi apabila terdampak oleh kegiatan pengelolaan limbah.

KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh pembahasan mengenai pengaruh polusi udara terhadap angka kematian dini di Cilegon, Provinsi Banten, dapat disimpulkan bahwa kawasan industri ini menghadapi krisis kesehatan masyarakat yang sangat serius akibat konsentrasi sumber polusi yang masif, terutama dari PLTU Suralaya dan puluhan pabrik baja serta petrokimia yang beroperasi tanpa teknologi pengendalian emisi yang memadai. Data valid menunjukkan bahwa sekitar 1.470 kematian dini terjadi setiap tahunnya akibat paparan polutan berbahaya seperti partikulat halus, sulfur dioksida, dan nitrogen oksida, dengan kerugian ekonomi mencapai lebih dari 14 triliun rupiah per tahun akibat hilangnya produktivitas dan membengkaknya biaya kesehatan. Dampak polusi tidak hanya merenggut nyawa dan menguras ekonomi, tetapi juga merusak kualitas hidup masyarakat, mengganggu perkembangan anak-anak di sekolah, serta mendegradasi ekosistem lokal melalui hujan asam dan pencemaran logam berat. Meskipun berbagai strategi pencegahan telah diidentifikasi mulai dari penerapan teknologi pengendalian emisi, transisi ke energi terbarukan, penguatan pemantauan kualitas udara, hingga perlindungan masyarakat rentan, implementasinya masih memerlukan komitmen politik dan investasi yang besar. Penegakan hukum yang tegas melalui penyegelan pabrik-pabrik pencemar oleh pemerintah pusat serta gugatan warga melalui jalur pengadilan menunjukkan adanya harapan bagi tegaknya keadilan lingkungan, namun tanpa percepatan pensiun dini PLTU batubara dan peralihan menyeluruh ke energi bersih, angka kematian dini di Cilegon diproyeksikan akan terus meningkat dan menjadi beban nasional yang semakin berat hingga puluhan tahun ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhari, M., Hanani, Y. D., & Nurjazuli. (2022). Hubungan kadar pencemaran SO₂ dan NO₂ dengan incidence rate ISPA pada balita di Kota Cilegon tahun 2018-2020. *Jurnal Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lingkungan*, 3(1), 22-29. <https://doi.org/10.25077/jk31.3.1.22-29.2022>
- Badan Pusat Statistik Kota Cilegon. (2022). *Kota Cilegon dalam angka 2022*. Badan Pusat Statistik Kota Cilegon.
- Caesarina, H. M., & Rahmani, D. R. (2019). Penyediaan ruang terbuka hijau dengan pendekatan kota hijau pada perkotaan Martapura. *Jurnal Planoeearth*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.31764/jpe.v4i1.712>
- Candrasari, S., et al. (2023). Pemulihan dampak pencemaran udara bagi kesehatan masyarakat Indonesia. *Professional: Jurnal Komunikasi dan Administrasi Publik*, 10(2), 849-854. <https://doi.org/10.37676/professional.v10i2.5417>
- Hanafi, I., & Fitrianto, A. (2022). Skenario kebijakan tentang ruang terbuka hijau di Kota Batu: Suatu pendekatan simulasi. *Kolaborasi: Jurnal Administrasi Publik*, 8(1), 1-17. <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/kolaborasi/article/view/6998>
- Kristianto, A. H., & Nadapdap, J. P. (2021). Dinamika sistem ekonomi sirkular

- berbasis masyarakat metode causal loop diagram Kota Bengkulu. *Sebatik*, 25(1), 59–67. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v25i1.1279>
- Martin, R., et al. (2023). *GHG emissions of all world countries: JRC science for policy report*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/235266>
- Mawardi, I., Winanti, W. S., Sudinda, T. W., & Alimin, A. (2022). Analisis capaian nol bersih emisi karbon sebagai acuan Indonesia dalam pemenuhan komitmen mitigasi perubahan iklim. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 16(2), 1–22.
- Nastiti, A., & Hardiningsih, P. (2022). Determinan pengungkapan emisi karbon perusahaan manufaktur. *Jurnal Ilmiah Akuntansi dan Keuangan*, 4(6), 2668–2681.
- Sudjoko, C. (2021). Strategi pemanfaatan kendaraan listrik berkelanjutan sebagai solusi untuk mengurangi emisi karbon. *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, 2(2), 54–68.
- Umah, R., & Gusmira, E. (2024). Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat di perkotaan. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, 3(3), 103–112. <http://dx.doi.org/10.58192/profit.v3i3.2246>
- Wahyudi, R. S. (2022). Kewajiban pemerintah daerah dan badan usaha dalam penanggulangan dan pemulihan kerusakan lingkungan hidup Kabupaten Cilacap. *Morality: Jurnal Ilmu Hukum*, 8(2), 188–208. <http://dx.doi.org/10.52947/morality.v8i2.256>