

KUALITAS UDARA KOTA BENGKULU DALAM BAYANG-BAYANG PM_{2,5}: ANALISIS DATA DAN RISIKO KESEHATAN

Susilo Wulan^{1*}, Dirhan², Dini Syavani³

^{1,2,3}STIKES Tri Mandiri Sakti Bengkulu

wulan_susilo@yahoo.co

Received: 10-06-2025

Revised: 25-06-2025

Approved: 28-06-2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren konsentrasi PM_{2.5} di Kota Bengkulu serta mengevaluasi potensi dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif observasional berbasis data sekunder dari pengukuran PM_{2.5} oleh BMKG Bengkulu selama periode September 2021 hingga Juli 2024, yang kemudian dikonversi ke nilai ISPU dan dianalisis secara statistik dan spasial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas udara di Kota Bengkulu berada dalam kategori ISPU Sedang, namun mengalami tren peningkatan konsentrasi tahunan, terutama pada musim kemarau (Mei–Agustus). Konsentrasi PM_{2.5} tertinggi tercatat sebesar 32,87 µg/m³ pada Juli 2024 dan seluruh rata-rata bulanan melebihi ambang batas tahunan WHO sebesar 5 µg/m³. Sumber utama pencemaran diduga berasal dari emisi PLTU Teluk Sepang serta aktivitas bongkar muat dan penumpukan batubara di Pelabuhan Pulau Baai. Simpulan: Meskipun masih dalam kategori ISPU Sedang, tingginya konsentrasi PM_{2.5} yang melebihi standar WHO menandakan potensi risiko kesehatan jangka panjang, terutama bagi kelompok rentan, sehingga diperlukan upaya mitigasi dan pengendalian polusi udara secara lebih serius.

Kata Kunci: PM_{2.5}, ISPU, Kualitas Udara, Kesehatan Masyarakat

PENDAHULUAN

Pencemaran atmosfer perkotaan oleh Partikulat halus menjadi perhatian besar dalam kesehatan global (Miao et al., 2019). WHO (2021) menetapkan bahwa paparan jangka panjang PM_{2.5} dengan konsentrasi melebihi 5 µg/m³ berhubungan langsung dengan peningkatan risiko penyakit pernafasan kronis, kardiovaskular, kanker paru dan kematian dini (WHO, 2021). Studi epidemiologi terbaru bahkan menunjukkan bahwa setiap peningkatan 10 µg/m³ PM_{2.5} dapat meningkatkan risiko kematian dini sebesar 9-15% serta memperburuk prevalensi asma hingga 30% (Orellano et al., 2024) (Kumar et al., 2024). Pertumbuhan urbanisasi dan industrialisasi yang pesat mendorong peningkatan signifikan dalam konsumsi material global dan energy fosil yang menyebabkan masalah pencemaran udara yang parah di berbagai Kota (Wu et al., 2018). Kota Bengkulu sebagai ibukota Provinsi sekaligus pusat pemerintahan dan aktivitas ekonomi di wilayah barat pulau Sumatera mengalami aktivitas pembangunan dan kepadatan penduduk dari waktu ke waktu. Perkembangan ini, meskipun membawa dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi, juga menyisakan dampak negatif terhadap lingkungan khususnya penurunan kualitas udara.

Salah satu sumber utama pencemaran udara di Bengkulu adalah keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sepang, yang beroperasi menggunakan bahan bakar batubara. PLTU ini terletak relatif dekat dengan kawasan pemukiman warga, sekolah, fasilitas kesehatan, dan pesisir laut yang menjadi pusat aktivitas masyarakat. Selain dari cerobong PLTU, aktivitas bongkar muat batubara di pelabuhan serta area stockpile (penumpukan batubara) turut menjadi kontributor utama pencemaran udara. Aktivitas truk batu baru memberikan dampak negative yang terjadi berupa emisi ke udara ambien baik karena transportasi maupun emisi debu batu bara itu sendiri (Salma, 2024). Proses bongkar muat batubara dari dilakukan di ruang terbuka menimbulkan debu batubara halus yang tersebar oleh angin ke lingkungan

sekitar. Stockpile batubara yang tidak dikelola dengan pengendalian debu yang memadai akan memperparah risiko pencemaran terutama saat cuaca kering atau berangin. Emisi dari PLTU dan aktivitas pendukungnya tersebut berpotensi meningkatkan paparan polutan seperti: Partikulat Matter ($PM_{2.5}$ dan PM_{10}), Nitrogen Dioksida (NO_2), Sulfur Dioksida (SO_2), Logam berat berbahaya seperti Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As) dan Kadmium (Cd) (Maciejczyk et al., 2021). Partikulat dan gas NO_2 dan SO_2 memicu iritasi saluran pernafasan, gangguan kardiovaskular, dan akumulasi peradangan kronis di system pernafasan dan jantung. Sementara merkuri dan Timbal yang disimpan dalam abu batu bara (*coal ash*) dapat menyebabkan gangguan neurologis, kerusakan organ penting seperti ginjal dan jantung, serta risiko kanker melalui akumulasi dalam ekosistem dan rantai makanan. Kadar arsenic dan cadmium dalam emisi batu bara juga terbukti bersifat karsinogen dan berpotensi menyebabkan gangguan hemato-onkologi serta kerusakan ginjal dan lapisan organ lainnya (Asif et al., 2022; Milota & Mosher, 2008).

Faktor meteorologis seperti suhu, kelembaban, dan arah angin mempengaruhi penyebaran polutan $PM_{2.5}$ di atmosfer (Chen et al., 2020). Perbedaan musim juga berperan penting, dimana konsentrasi cenderung lebih tinggi pada musim kemarau akibat minimnya hujan yang berfungsi mengendapkan polutan (Wang et al., 2025). Penelitian Salma (2024) menunjukkan bahwa aktivitas transportasi dan bongkar muat batubara di wilayah pesisir meningkatkan tren konsentrasi $PM_{2.5}$ secara signifikan, terutama di saat cuaca kering dan berangin (Salma, 2024). Berdasarkan berbagai kajian dan pemantauan kualitas udara, emisi dan debu batubara dari aktivitas industri energi ini dapat menyebar hingga beberapa kilometer dari titik sumber, terutama saat kondisi angin laut membawa polutan ke daratan. Hal ini menimbulkan risiko serius bagi kesehatan masyarakat, terutama kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, ibu hamil dan penderita penyakit kronis. Paparan jangka panjang dapat memperburuk penyakit kardiovaskular dan pernafasan, meningkatkan risiko kanker paru, serta mengganggu perkembangan anak. Dengan posisi Bengkulu sebagai kota pesisir yang memiliki ekowisata, perikanan dan pertanian perkotaan, pencemaran udara dari sektor energi batubara menjadi tantangan serius dalam upaya menjaga lingkungan hidup yang sehat dan berkelanjutan. Penelitian mengenai kualitas udara khususnya $PM_{2.5}$ di Kota Bengkulu menjadi sangat mendesak mengingat belum tersedianya sistem pemantauan kualitas udara secara real time dan berkelanjutan di wilayah ini.

Meningkatnya aktivitas industri dan pembangunan, pemantauan berbasis data sangat dibutuhkan untuk mengetahui kondisi udara sebenarnya. Salah satu tantangan utama adalah kurangnya kajian lokal berbasis data empiris mengenai tingkat pencemaran udara yang ditimbulkan dari aktivitas PLTU Teluk Sepang dan kegiatan bongkar muat batubara di pelabuhan serta stockpile. Padahal Kota Bengkulu memiliki sejumlah kelompok rentan seperti anak-anak, lansia dan penderita penyakit kronis yang sangat berisiko terhadap paparan udara jangka panjang, khususnya partikulat halus $PM_{2.5}$. Namun hingga saat ini, dampak paparan tersebut terhadap kesehatan masyarakat belum terdokumentasi secara rinci. Selain itu, kebijakan lingkungan di tingkat daerah masih lebih banyak difokuskan pada pengelolaan limbah padat dan air, sementara aspek pencemaran udara belum mendapat perhatian yang memadai. Melalui penelitian ini, diharapkan akan tersedia bukti ilmiah yang tidak hanya mengisi kekosongan data tetapi juga menjadi dasar dalam menyusun kebijakan pengendalian pencemaran udara di kota Bengkulu. Hal ini sejalan dengan komitmen nasional dan

global terhadap pembangunan berkelanjutan, terutama pada tujuan SDG 3 (Kesehatan yang baik) dan SDG 11 (Kota dan Pemukiman Berkelanjutan).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif observasional non-eksperimental yang menggambarkan kondisi kualitas udara berdasarkan konsentrasi PM_{2.5} di kota Bengkulu dan mengevaluasi potensi dampaknya terhadap kesehatan masyarakat di sekitar sumber pencemar di Kota Bengkulu. Penelitian dilaksanakan di Kota Bengkulu dengan fokus pada wilayah sekitar PLTU batubara Teluk Sepang, Pelabuhan Pulau Baai dan kawasan stokpile batubara. Analisis data dilakukan pada periode bulan Mei-Juni 2024 menggunakan data sekunder yang mencakup pengukuran harian PM_{2.5} yang diperoleh dari hasil pencatatan stasiun pengamatan BMKG Kelas I Pulau Baai Kota Bengkulu dari tahun September 2021-Juli 2024. Selanjutnya data tersebut di konversi ke nilai ISPU untuk mengetahui kualitas udara di Kota Bengkulu. Penghitungan ISPU menggunakan Rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- I = ISPU terhitung
- Ia = ISPU batas atas
- Ib = ISPU batas bawah
- Xa = Konsentrasi ambien batas atas (µgr/m³)
- Xb = Konsentrasi ambien batas bawah (µgr/m³)
- Xx = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µgr/m³)

Kategori ISPU ditentukan berdasarkan rentang nilai Baik (0-50), Sedang (51-100), Tidak Sehat (101-200), Sangat Tidak Sehat (201-300) dan Berbahaya (>300). tahapan analisis data terlihat seperti flowchart berikut:



Gambar 1. Alur Proses Analisis Data PM_{2.5} dan Evaluasi Dampak Kesehatan

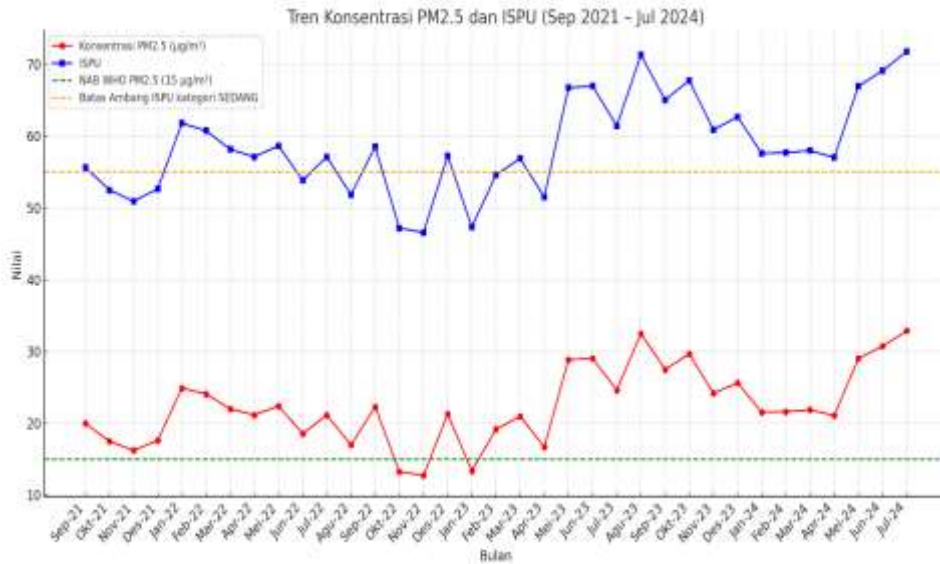
Data ISPU selanjutnya diolah untuk melihat rata-rata bulanan, frekuensi hari dengan kualitas udara tidak sehat, dan tren tahunan selama periode observasi. Visualisasi data dilakukan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menggambarkan fluktuasi kualitas udara. Penilaian terhadap kontribusi potensi sumber polusi seperti aktivitas PLTU, pelabuhan dan stockpile batubara dilakukan melalui analisis spasial dan interpretasi berbasis literatur. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersifat publik dan tidak melibatkan subjek manusia secara langsung. Sumber data disebutkan dengan jelas dan digunakan sesuai dengan kaidah etika akademik.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tren Konsentrasi PM_{2.5} di Kota Bengkulu

Polusi PM_{2.5} (*Particulate Matter 2,5*) merupakan masalah global dan masalah kesehatan masyarakat khususnya bagi negara dengan tingkat polusi yang significant dari berbagai sumber emisi. Sumber utama PM_{2.5} adalah dari hasil pembakaran bahan fosil, emisi kendaraan, aktivitas industry, pembakaran sampah, aktivitas pertanian, badai debu/letusan gunung berapi, aktivitas konstruksi dan pembakaran biomassa. PM_{2.5} adalah partikel padat dan tetesan cairan di udara dengan diameter kurang dari 2,5 mikrometer. Partikel tersebut berupa debu, kotoran, jelaga, atau asap yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang (USEPA, 2024). Menggunakan data harian rata-rata PM_{2.5} diketahui bahwa Kualitas Udara berkategori Sedang. Artinya Tingkat Kualitas udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan, namun sudah menunjukkan indikasi risiko kesehatan jangka panjang. Paparan jangka panjang terhadap PM_{2.5} telah dikaitkan dengan penurunan fungsi paru, penyakit kardiovaskular, serta kematian dini terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia dan penderita penyakit kronis (WHO, 2021). Meta analysis global menyimpulkan bahwa untuk setiap kenaikan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2.5}, risiko kematian dini meningkat 9-15% sementara paparan jangka panjang juga berhubungan dengan penurunan fungsi paru dan peningkatan prevalensi asma hingga 30% (Orellano et al., 2024).

ISPU PM_{2.5} adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi udara ambien di lokasi tertentu yang didasarkan pada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. ISPU PM_{2.5} ditentukan dengan tahapan penghitungan pemantauan serta konversi konsentrasi parameter PM_{2.5}. Berdasarkan rumus penghitungan ISPU diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 2. Tren Konsentrasi PM_{2.5} dan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Periode Sep 2021 - Jul 2024

Berdasarkan data pemantauan kualitas udara di kota Bengkulu selama periode September 2021 hingga Juli 2024, terlihat bahwa konsentrasi rata-rata bulanan PM_{2.5} menunjukkan pola fluktuatif dengan kecenderungan meningkat pada musim kemarau, terutama pada bulan Mei hingga Agustus. Konsentrasi tertinggi tercatat pada bulan Agustus 2023 (32,50 µg/m³) dan Juli 2024 (32,87 µg/m³) yang diikuti oleh peningkatan nilai Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) hingga kisaran 71-72. Meskipun dalam kategori Sedang menurut klasifikasi nasional.



Gambar 3. Rata-rata Tahunan Konsentrasi PM_{2.5} (µg/m³) Tahun 2021–2024

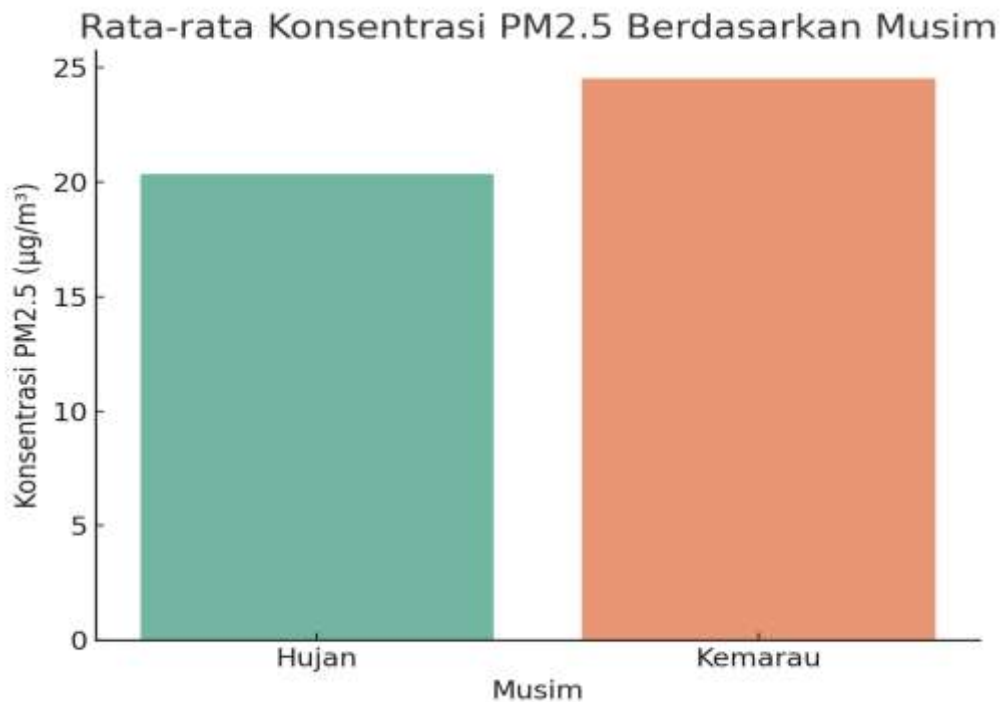
Secara umum nilai konsentrasi rata-rata ambien PM_{2.5} dari dalam 4 tahun terakhir 2021- 2024 berturut-turut adalah 17,83 µgr/m³; 20,07 µgr/m³; 24,34 µgr/m³ dan 25,53 µgr/m³. Konsentrasi tertinggi sebesar 32,87 µgr/m³ terjadi pada bulan Juli

2024 dan terendah sebesar $12,75 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ terjadi di bulan November 2022. Seluruh bulan pengamatan ($n=35$) melampaui standar tahunan WHO sebesar $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 91,4% bulan melampaui baku mutu nasional untuk kategori Baik. Peningkatan konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ diduga terkait dengan emisi dari PLTU berbahan bakar batubara di Reluk Sepang yang menjadi sumber utama partikel $\text{PM}_{2.5}$. Selain itu, aktivitas industri dan logistik di sekitar pelabuhan Pulau Baai, terutama kegiatan bongkar muat batubara di area stockpile yang berpotensi menghasilkan partikel debu halus. Dugaan ini diperkuat oleh lokasi stasiun pengamatan BMKG yang berada di wilayah pesisir, berdekatan dengan jalur distribusi dan kawasan industri, sehingga memungkinkan adanya paparan langsung terhadap emisi partikel dari aktivitas tersebut.

Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ dipengaruhi oleh: Pertama, Faktor antropogenik berupa pembakaran bahan bakar fosil, aktivitas industri dan kendaraan bermotor yang merupakan kontributor utama $\text{PM}_{2.5}$ (WHO, 2021). Kedua, Faktor meteorologis berupa suhu, kelembaban dan angin yang dapat mempengaruhi konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ dengan cara mengatur dispersi dan pengendapan partikel di atmosfer (Gupta & Christopher, 2009)(Chen et al., 2020). Ketiga, Faktor Musiman. Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ cenderung lebih tinggi pada musim dingin atau kemarau akibat peningkatan pembakaran dan stagnasi atmosfer (Wang et al., 2025)(Pangestika & Wilti, 2021). Beberapa studi menyebutkan bahwa $\text{PM}_{2.5}$ dapat meningkat signifikan akibat aktivitas bongkar muat batubara di sekitar pelabuhan atau stockpile, termasuk dari emisi batu bara yang menjadi salah satu sumber utama pencemar udara di kawasan Pesisir.

Pola Musiman Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$

Analisis menunjukkan bahwa Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ cenderung lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan.



Gambar 4. Rata-rata Konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ Berdasarkan Musim

Grafik diatas menunjukkan perbedaan rata-rata konsentrasi $PM_{2.5}$ di Kota Bengkulu berdasarkan musim, dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan. Rata-rata konsentrasi $PM_{2.5}$ pada musim kemarau mencapai $24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan pada musim hujan sekitar $20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. peningkatan pada musim kemarau disebabkan minimnya curah hujan yang berfungsi mengendapkan partikel polutan, sehingga partikel bertahan lebih lama di atmosfer. Debu dari kegiatan penambangan pit terbuka memuncak pada musim tertentu dan Perbedaan ini juga konsisten dengan factor meteorologis seperti suhu, kelembaban, dan arah angin yang mempengaruhi disperse partikel (WHO, 2021) (Wang et al., 2025). Perbedaan ini menggambarkan bahwa musim kemarau memperburuk kondisi kualitas udara karena minimnya curah hujan yang biasanya membantu mengendapkan partikel polutan ke permukaan tanah. Peningkatan polusi pada musim kemarau berdampak lebih signifikan terhadap kawasan/area pemukiman padat penduduk dan fasilitas umum seperti sekolah/masjid di sekitar kelurahan Teluk Sepang dan Sumber Jaya menjadi kelompok yang lebih rentan terhadap dampak jangka panjang dari paparan polutan $PM_{2.5}$. Selain itu arah angin laut pada waktu tertentu dominan dari laut ke darat pada waktu-waktu tertentu juga dapat membawa partikel halus ke daerah yang lebih jauh dari titik sumber, memperluas jangkauan dampaknya.

Perbandingan dengan Standar Kualitas Udara

Konsentrasi $PM_{2.5}$ berubah setiap waktu, sehingga pada saat tertentu seseorang dapat terpajan melebihi nilai ambang batas (NAB) ataupun dibawah NAB (3) (Pangestika & Wilti, 2021). Dari sisi regulasi, NAB $PM_{2.5}$ menurut Permen LHK No. P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 adalah $65 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ untuk rata-rata harian, sedangkan standar yang ditetapkan WHO jauh lebih ketat, yaitu, hanya $15 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ untuk rata-rata harian dan $5 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ untuk rata-rata tahunan (WHO, 2021). Bila dibandingkan dengan nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), tampak bahwa pada periode tertentu nilai konsentrasi melebihi ambang aman WHO dan mendekati atau melampaui batas nasional, menunjukkan potensi risiko kesehatan yang signifikan bagi masyarakat Bengkulu, khususnya yang tinggal disekitar kawasan industri dan pelabuhan Pulau Baai.

Berdasarkan analisis data bulanan konsentrasi $PM_{2.5}$ di Kota Bengkulu dari bulan Septemer 2021 hingga Juli 2024 selama periode 35 bulan menunjukkan bahwa kualitas udara di kota ini mengkhawatirkan. Seluruh bulan dalam rentang waktu tersebut memiliki konsentrasi $PM_{2.5}$ yang melebihi standar tahunan yang ditetapkan oleh WHO yaitu $5 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2022). Artinya tidak satu bulan pun selama tiga tahun terakhir yang menunjukkan kualitas udara yang aman menurut standar internasional. Sebanyak 32 dari 35 bulan tercatat memiliki konsentrasi $PM_{2.5}$ melebihi ambang batas $15 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ yang ditetapkan Permen LHK No. P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 sebagai batas maksimal untuk kategori kualitas udara BAIK. Dengan demikian mayoritas bulan menunjukkan kualitas udaray dalam kategori SEDANG atau lebih buruk secara nasional. Temuan ini mengindikasikan adanya potensi paparan jangka panjang terhadap partikel halus $PM_{2.5}$ bagi masyarakat kota Bengkulu yang dapat menimbulkan dampak kesehatan yang serius terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, lansia dan penderita penyakit kronis. Berdasarkan lokasi stasiun pengamatan, analisis spasial, dan literature, sumber utama $PM_{2.5}$ di Kota Bengkulu diduga berasal dari:

- 1) PLTU batubara Teluk Sepang, emisi pembakaran batubara menghasilkan partikulat haslus dan logam berat.

- 2) Aktivitas bongkar muat di Pelabuhan Pulau Baai, debu batubara yang terlepas saat pemindahan di ruang terbuka terbawa angin ke permukaan.
- 3) Kawasan Stockpile batubara, menjadi sumber debu signifikan, terutama saat kondisi kering dan berangin.

Factor antropogenik ini diperburuk oleh factor meteorologis yang mempengaruhi penyebaran polutan, sehingga area terdampak dapat meluas hingga beberapa kilometer dari titik sumber. Penelitian tentang polusi udara akibat aktivitas pertambangan menunjukkan bahwa proses pembongkaran, pemindahan, dan penyimpanan batu bara dapat menghasilkan partikulat sangat halus yang mudah terbawa angin hingga jarak beberapa kilometer (Hannun & Abdul Razzaq, 2022). Aktivitas di area terbuka seperti stockpile tanpa system penahan debu efektif meningkatkan konsentrasi $PM_{2.5}$ di udara ambien. Debu batubara juga dapat membawa logam berat seperti arsenic, timbal dan merkuri yang berpotensi memperburuk dampak kesehatan masyarakat di sekitar area industry. Studi menunjukkan bahwa peningkatan 10% dalam stockpile batubara dapat meningkatkan konsentrasi $PM_{2.5}$ hingga sekitar 0,07% serta meningkatkan risiko mortalitas dewasa dan bayi secara signifikan (Jha, Akshaya; Muller, 2017).

Potensi Dampak Kesehatan Masyarakat

Paparan jangka pendek maupun jangka panjang terhadap polusi udara khususnya $PM_{2.5}$, terbukti berdampak serius terhadap kesehatan masyarakat. Partikel tersebut dapat menimbulkan masalah kesehatan yang serius jika terhirup dan masuk ke paru-paru dan aliran darah (WHO, 2021) (Seihei et al., 2024). Dampak negative bagi kesehatan manusia diantaranya adalah permasalahan pernafasan, PPOK, kardiovaskular, cancer, neurologi dan gangguan perkembangan anak (Wang et al., 2025) (Kumar et al., 2024). Meta analisis global melaporkan bahwa setiap peningkatan $10 \mu g/m^3$ $PM_{2.5}$ meningkatkan risiko kematian dini sebesar 9-15% dan memperburuk prevalensi asma hingga 30% (Orellano et al., 2023) (Kumar et al., 2024). Kondisi di Bengkulu dimana rata-rata bulanan $PM_{2.5}$ hamper selalu diatas standar WHO, menunjukkan potensi beban penyakit yang tinggi terutama bagi kelompok rentan.

Polusi udara termasuk $PM_{2.5}$, Ozone dan NO_2 , merupakan salah satu dari 14 faktor risiko demensia yang dapat dimodifikasi. Polusi ini bisa memicu peradangan dan kerusakan otak secara perlahan yang berkontribusi terhadap perkembangan demensia (Rogowski et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan risiko untuk mengendalikan kualitas lingkungan agar risiko gangguan kesehatan menurun. Dengan mengurangi tingkat polusi udara maka beban penyakit akibat paparan kronis seperti stroke, jantung, kanker paru, dan paparan akut yang memicu serangan asma, infeksi saluran pernafasan dan peradangan sistemik. Studi kasus di kawasan pertambangan batubara Australia menunjukkan bahwa paparan $PM_{2.5}$, dengan kandungan karbon dan logam berat dari debu tambang meningkatkan kejadian bronchitis kronis hingga 27% pada masyarakat sekitar dalam radius 5 km dari sumber pencemar (Hannun & Abdul Razzaq, 2022).

Penting bagi masyarakat dan pemerintah daerah untuk memantau secara rutin indeks kualitas udara dan mengambil langkah mitigasi, seperti pengendalian emisi, penggunaan teknologi bersih di sector industry dan energy, serta peningkatan kesadaran publik mengenai bahaya paparan $PM_{2.5}$. WHO dan kementerian kesehatan juga merekomendasikan penggunaan masker respiratory (N95), pengurangan aktivitas luar ruang saat kualitas udara buruk, serta upaya pencegahan dini untuk kelompok

rentan seperti anak-anak, lansia dan ibu hamil. Implementasi best practices pengelolaan debu di pelabuhan dan stockpile seperti pemasangan dust suppression system, penutupan tumpukan batu bara dengan terpal atau membrane pelindung, serta pengaturan jadwal bongkar muat untuk meminimalkan disperse debu pada kondisi angin kencang.

KESIMPULAN

Bahwa tingkat polusi udara ini masih berada pada kategori ISPU Sedang, namun terdapat tren peningkatan tahunan yang signifikan, terutama selama musim kemarau. Konsentrasi PM_{2.5} tertinggi terjadi pada bulan-bulan dengan aktivitas industri dan logistik yang tinggi, seperti Mei hingga Agustus, yang diduga berkaitan erat dengan operasi PLTU Teluk Sepang serta kegiatan bongkar muat batubara di pelabuhan Pulau Baai. Meskipun secara nasional nilai PM_{2.5} masih tergolong Sedang, rata-rata tahunan sudah melampaui ambang batas aman yang direkomendasikan oleh WHO sebesar 5 µg/m³, yang menandakan adanya potensi risiko kesehatan jangka panjang bagi masyarakat. Berbagai literatur mendukung bahwa paparan jangka panjang terhadap PM_{2.5} dapat memicu penyakit pernapasan kronis, gangguan jantung, kanker, hingga gangguan neurologis seperti demensia, terutama pada kelompok yang rentan. Oleh karena itu, langkah mitigasi dan pengendalian polusi udara menjadi sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat di wilayah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asif, Z., Chen, Z., Wang, H., & Zhu, Y. (2022). Update on air pollution control strategies for coal-fired power plants. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(8), 2329–2347. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02328-8>
- ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2022). *Health Effects of Exposure to Substances. October, 2021–2022.*
- Chen, Z., Chen, D., Zhao, C., Kwan, M. po, Cai, J., Zhuang, Y., Zhao, B., Wang, X., Chen, B., Yang, J., Li, R., He, B., Gao, B., Wang, K., & Xu, B. (2020). Influence of meteorological conditions on PM_{2.5} concentrations across China: A review of methodology and mechanism. *Environment International*, 139(April), 105558. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105558>
- Gupta, P., & Christopher, S. A. (2009). Particulate matter air quality assessment using integrated surface, satellite, and meteorological products: Multiple regression approach. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(14). <https://doi.org/10.1029/2008JD011496>
- Hannun, R. M., & Abdul Razzaq, A. H. (2022). Air Pollution Resulted from Coal, Oil and Gas Firing in Thermal Power Plants and Treatment: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1002(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1002/1/012008>
- Jha, Akshaya; Muller, N. Z. (2017). *Handle With Care: The Local Air Pollution Costs of Coal Storage* (23417).
- Kumar, S., Saha, N., Mohana, A. A., Hasan, M. S., Rahman, M. S., Elmes, M., & MacFarlane, G. R. (2024). Atmospheric Particulate Matter and Associated Trace Elements Pollution in Bangladesh: A Comparative Study with Global Megacities. *Water, Air, and Soil Pollution*, 235(4), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07021-8>
- Maciejczyk, P., Chen, L. C., & Thurston, G. (2021). The role of fossil fuel combustion metals in PM_{2.5} air pollution health associations. *Atmosphere*, 12(9), 1–34. <https://doi.org/10.3390/atmos12091086>

- Miao, Y., Li, J., Miao, S., Che, H., Wang, Y., Zhang, X., Zhu, R., & Liu, S. (2019). Interaction Between Planetary Boundary Layer and PM_{2.5} Pollution in Megacities in China: a Review. *Current Pollution Reports*, 5(4), 261–271. <https://doi.org/10.1007/s40726-019-00124-5>
- Milota, M., & Mosher, P. (2008). Emissions of hazardous air pollutants from lumber drying. *Forest Products Journal*, 58(7–8), 50–55.
- Orellano, P., Kasdagli, M. I., Pérez Velasco, R., & Samoli, E. (2024). Long-Term Exposure to Particulate Matter and Mortality: An Update of the WHO Global Air Quality Guidelines Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Public Health*, 69(September), 1–14. <https://doi.org/10.3389/ijph.2024.1607683>
- Orellano, P., Reynoso, J., & Quaranta, N. (2023). Effects of air pollution on restricted activity days: systematic review and meta-analysis. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 22(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12940-023-00979-8>
- Pangestika, R., & Wilti, I. R. (2021). Karakteristik Risiko Kesehatan Non-Karsinogenik Akibat Paparan PM_{2.5} di Tempat-Tempat Umum Kota Jakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(1), 7–14. <https://doi.org/10.14710/jkli.20.1.7-14>
- Rogowski, C. B. B., Bredell, C., Shi, Y., Tien-smith, A., Szybka, M., Fung, K. W., Hong, L., Phillips, V., Andersen, Z. J., Sharp, S. J., Woodcock, J., Brayne, C., Navaratnam, A., & Khreis, H. (2025). Long-term air pollution exposure and incident dementia: a systematic review and meta-analysis. 1–15. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(25\)00118-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(25)00118-4)
- Salma, H. (2024). Analisis Kualitas Udara Terhadap Aktivitas Truk Batubara Di Provinsi Jambi. *JSSIT: Jurnal Sains Dan Sains Terapan*, 2(1), 33–39. <https://doi.org/10.30631/jssit.v2i1.44>
- Seihei, N., Farhadi, M., Takdastan, A., Asban, P., Kiani, F., & Mohammadi, M. J. (2024). Short-term and long-term effects of exposure to PM₁₀. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 27(March), 101611. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2024.101611>
- USEPA. (2024). *Particulate Matter (PM) Pollution*.
- Wang, G., Hu, L., Xiao, L., Zhao, K. F., & Zheng, R. B. (2025). Seasonal Variation in Pm_{2.5} and Pm₁₀ Concentrations Affected By Different Land Use Covers and Precipitation in Guangzhou, South China. *Applied Ecology and Environmental Research*, 23(3), 5929–5952. https://doi.org/10.15666/aeer/2303_59295952
- WHO. (2021). WHO global air quality guidelines Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. In *WHO*.
- Wu, X., Vu, T. V., Shi, Z., Harrison, R. M., Liu, D., & Cen, K. (2018). Characterization and source apportionment of carbonaceous PM_{2.5} particles in China - A review. *Atmospheric Environment*, 189(January), 187–212. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.025>