Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 14, No. 4, Juli 2025, hal. 368 – 378
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.14.4.368-378.2025

Open Access

Identifikasi Kadar PM2,5, PM10, CO, dan CO_2 di Sekitar PLTU Teluk Sepang Menggunakan *Air Quality Detector*

Fascal Verojenases [1], Angeli Silaban [1], Samuel Kristian Alfredo Banjarnahor [1], Irkhos[1], Lizalidiawati[1*]
[1]Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Univeristas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 5 Mei 2025
Direvisi: 1 Juni 2025
Diterima: 2 Juli 2025

Kata kunci:
CO
CO_2
Kualitas Udara
PM2,5
PM10

ABSTRAK

PLTU Teluk Sepang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama dan berpotensi menurunkan kualitas udara di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kualitas udara di sekitar PLTU Teluk Sepang serta dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Data yang digunakan yaitu PM2,5, PM10, CO, dan CO_2 pada tujuh titik lokasi pada bulan Juni dan Juli 2024. Metode pada penelitan ini adalah kuantitatif dan deskriptif, kuantitatif digunakan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan ambang batas yang ditetapkan pemerintah, sedangkan deskriptif digunakan untuk memvisualisasikan data dalam bentuk grafik dan peta sebaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar PM2,5 dan PM10 pada beberapa titik melebihi ambang batas yang ditentukan, terutama di dekat PLTU dan area jalan lalu lintas, yang masuk dalam kategori "Tidak Sehat". Kadar CO masih berada dalam batas aman, sementara kadar CO_2 berada dalam kategori udara tercemar, serta terjadinya peningkatan polutan di malam hari mengindikasikan adanya dampak signifikan dari aktivitas PLTU terhadap kualitas udara. Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas udara di sekitar PLTU Teluk Sepang berada dalam kondisi tercemar, sehingga diperlukan langkah mitigasi untuk mengendalikan polusi udara demi kesehatan masyarakat dan lingkungan.

Keywords:
CO
CO_2
Air Quality
PM2,5
PM10

Penulis Korespondensi:
Lizalidiawati
Email: lizalidiawati@unib.ac.id

PLTU Teluk Sepang uses coal as the main fuel and has the potential to reduce air quality in the vicinity. This study aims to identify the air quality around PLTU Teluk Sepang and its impact on the environment and public health. The data used are PM2,5, PM10, CO, and CO_2 at seven location points in June and July 2024. The method in this research is quantitative and descriptive, quantitative is used to compare the measurement results with the threshold set by the government, while descriptive is used to visualize the data in the form of graphs and distribution maps. The results showed that PM2,5 and PM10 levels at several points exceeded the specified thresholds, especially near the PLTU and traffic road areas, which fell into the "Unhealthy." category. CO levels are still within safe limits, while CO_2levels are in the polluted air category, and the increase in pollutants at night indicates a significant impact of PLTU activities on air quality. This study shows that the air quality around Teluk Sepang PLTU is in a polluted condition, so mitigation measures are needed to control air pollution for public health and the environment.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan listrik, dengan batu bara, biomassa, dan sumber energi terkait lainnya sebagai bahan bakar utamanya (Faruk & Indra, 2020). PLTU beroperasi dengan menggunakan batu bara berkualifikasi khusus sebagai bahan bakar utama agar dapat digunakan dalam jangka panjang dan menghasilkan energi yang dikonversi menjadi listrik, dengan tambahan bahan bakar seperti gas atau minyak. PLTU Teluk Sepang yang menggunakan batu bara sebagai sumber energi utamanya, dibangun di Kelurahan Teluk Sepang, Kecamatan Kampung Melayu, Kota Bengkulu, hanya berjarak 1,5 kilometer dari pemukiman warga dan dekat dengan Pantai serta Pulau Baai (Saniyyah, 2018). Batu bara merupakan jenis batuan sedimen yang memiliki sifat mudah terbakar, terbentuk dari material tumbuhan purba yang terendap dan mengalami transformasi melalui proses fisik dan kimia selama jutaan tahun (Lumakeki *et al*., 2021). Agar proses pembakaran batu bara berlangsung optimal, diperlukan jumlah udara yang seimbang sesuai dengan kebutuhan pembakaran. Pembakaran yang sempurna terjadi ketika seluruh energi dalam batu bara terbakar sepenuhnya, serta seluruh kandungan karbon dan hidrogen habis tanpa sisa (Susetyo *et al*., 2020).

Setiap hari, PLTU Teluk Sepang menghabiskan sekitar 2.732,4 ton batu bara, menghasilkan limbah air bahang panas yang dialirkan langsung ke laut, sehingga merusak ekosistem. Pencemaran ini terjadi akibat masuknya zat atau energi ke lingkungan, yang menurunkan kualitasnya hingga tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. (Oktaviani *et al*., 2023). Meskipun pada awalnya dianggap bermanfaat dalam mendukung kesejahteraan dan memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, eksistensi PLTU yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar dinilai menimbulkan dampak negatif, salah satunya adalah pencemaran lingkungan yang merugikan masyarakat (Pratama *et al*., 2021). Dalam proses operasionalnya, PLTU mengeluarkan limbah padat seperti *Fly Ash dan Bottom Ash* (FABA). Abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan mengandung partikel halus yang berpotensi terlepas ke udara apabila tidak dikelola dengan baik, sehingga dapat memicu pencemaran udara akibat partikel debu (PM10 dan PM2.5) (Triningsih *et al*., 2024). Kandungan dalam *fly ash* berbeda-beda tergantung pada jenis batu bara yang dibakar, namun secara umum *fly ash* mengandung silika (SiO_2) dan kalsium oksida (CaO). Akumulasi abu terbang dari pembakaran batu bara ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (Yunita *et al*., 2017).

Pencemaran udara terjadi akibat bercampurnya senyawa seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), ozon permukaan (O_3), dan partikel debu (PM10). Pada tingkat tertentu, hal ini dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata, dan alergi kulit (Nugroho *et al*., 2023). Pencemaran udara dalam ruangan dapat berdampak langsung atau tidak langsung pada kesehatan. Kualitas udara yang buruk disebabkan oleh polutan kimia, fisik, dan biologis (Rumampuk *et al*., 2021).

Particulate Matter (PM) merupakan jenis polutan udara yang terdiri dari campuran partikel cair maupun padat yang melayang di atmosfer. Partikel-partikel ini memiliki variasi dalam ukuran, komposisi, serta asalnya, dan dapat membahayakan kesehatan (Rosidin & Dirgawati, 2023). Polusi udara akibat PM2,5 dan PM10 merupakan jenis polutan yang sering ditemukan di daerah perkotaan dengan kepadatan penduduk tinggi. Di kota-kota besar, sumber utama pencemaran ini berasal dari emisi kendaraan bermotor, gesekan kanvas rem, serta interaksi antara ban dan permukaan jalan (Wellid *et al*., 2024). Salah satu polutan udara yang berpotensi membahayakan kesehatan adalah partikel debu berukuran sangat kecil yang dikenal sebagai *Particulate Matter* 2,5 (Anjelicha *et al*., 2022). PM2,5 merupakan campuran partikel padat dan tetesan cairan di udara yang berdiameter kurang dari 2,5 mikrometer (Wulan, dkk. 2024). PM10 adalah polutan udara yang berukuran sangat kecil, sekitar 10 mikron (mikrometer) atau kurang, termasuk asap, debu, jelaga, garam, asam, dan logam (Naimah *et al*., 2024). PM10 memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan pernapasan karena partikel ini dapat terhirup melalui hidung dan tenggorokan, lalu mencapai paru-paru (Najmi *et al*., 2021). Konsentrasi PM2,5 dan PM10 yang melebihi ambang batas tertentu, seperti yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) Nomor 22 Tahun 2021 55 $\mu g/m^3$ untuk PM2,5 harian dan 75 $\mu g/m^3$ untuk PM10 harian, dapat dikategorikan sebagai tidak sehat dan berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan serta kardiovaskular (Wellid *et al*., 2024).

Selain PM2,5 dan PM10, pembakaran batu bara juga menghasilkan gas-gas seperti karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO) yang juga berkontribusi pada pencemaran udara.Karbon dioksida (CO_2) adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat dengan satu atom

karbon. Dalam kondisi suhu dan tekanan normal di atmosfer, senyawa ini berbentuk gas. Karbon dioksida terbentuk dari proses pembakaran bahan organik. Gas ini tidak memiliki warna, bau, maupun rasa. Ketika pembakaran karbon berlangsung sempurna, gas yang dihasilkan adalah karbon dioksida (CO_2). Sebaliknya, jika pembakaran terjadi secara tidak sempurna akibat kurangnya oksigen, maka akan terbentuk karbon monoksida (CO), yang berbeda sifatnya (Sulistio, 2023). Paparan gas karbon dioksida (CO_2) dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan, seperti peningkatan denyut jantung, rasa sesak di dada, kesulitan bernapas, dan dalam kasus yang parah, bisa berujung pada kematian (Kurniawan *et al*., 2023). Menurut standar WHO, kadar CO_2 di atas 350 ppm sudah mengindikasikan udara tercemar, dan konsentrasi yang lebih tinggi dapat memperburuk kualitas udara dalam ruangan serta berkontribusi pada efek gas rumah kaca.

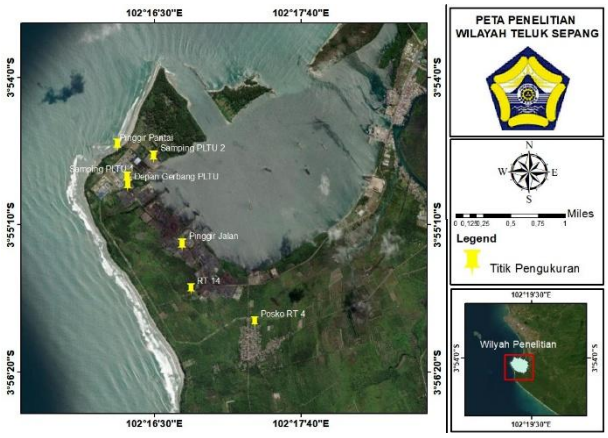
Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji kualitas udara di sekitar PLTU. Misalnya, Faruk & Indra (2020) meneliti dampak PLTU Tidore terhadap lingkungan udara, kesejahteraan, dan kesehatan masyarakat, menemukan adanya penurunan kualitas udara. Lumakeki *et al*. (2021) melakukan analisis kualitas udara di PLTU Amurang, mengidentifikasi beberapa polutan yang dihasilkan. Sementara itu, Perdana *et al*. (2023) menganalisis konsentrasi PM10 dan PM2,5 di Jakarta, menunjukkan fluktuasi musiman yang dipengaruhi oleh kondisi meteorologis. Penelitian-penelitian ini umumnya berfokus pada identifikasi polutan dan dampaknya secara umum.

Namun, penelitian-penelitian tersebut belum secara spesifik mengidentifikasi kualitas udara di sekitar PLTU Teluk Sepang, Kota Bengkulu. Meskipun (Oktaviani *et al*. (2023) dan Saniyyah (2018) telah menyoroti dampak PLTU Teluk Sepang terhadap ekosistem laut dan kesehatan lingkungan, belum ada studi mendalam yang secara kuantitatif dan deskriptif menganalisis kadar PM2,5, PM10, CO, dan CO_2 pada berbagai titik lokasi di sekitar PLTU ini, termasuk pola fluktuasi harian dan perbandingan dengan ambang batas pemerintah. Oleh karana itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengidentifikasi kualitas udara di daerah teluk sepang dan dampak adanya PLTU Teluk Sepang terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat.

II. METODE

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di wilayah sekitar PLTU Teluk Sepang, Kota Bengkulu. Data yang digunakan adalah PM2,5, PM10, CO, dan CO_2 yang diukur langsung ke lapangan di tujuh titik lokasi pada Juni dan Juli 2024.



Gambar 1 Peta Titik Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, *Air Quality Detector* digunakan untuk mengukur kualitas udara (PM2,5, PM10, CO, dan CO_2). Alat ini bekerja dengan menggunakan sensor elektrokimia untuk mendeteksi konsentrasi gas (seperti CO dan CO_2) dan sensor optik berbasis hamburan cahaya (*light scattering*) untuk mengukur konsentrasi partikel (PM2.5 dan PM10). Ketika partikel atau molekul gas melewati sensor, terjadi perubahan sinyal listrik atau optik yang kemudian dikonversi menjadi nilai konsentrasi

dalam satuan yang relevan (µg/m³ untuk PM dan ppm untuk gas). *Global Positioning System* (GPS) dimanfaatkan untuk menentukan titik koordinat pada setiap lokasi penelitian. *Stopwatch* digunakan untuk mengukur durasi pengambilan data pada setiap titik. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan laptop yang dilengkapi dengan *software Microsoft Excel* dan *software ArcGis*.

2.3 Mekanisme Pembentukan Polutan dari Pembakaran Batu Bara

Pembakaran batu bara di PLTU melibatkan reaksi oksidasi kompleks yang mengubah energi kimia dalam batu bara menjadi energi panas. Batu bara, yang sebagian besar tersusun dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S) serta sejumlah kecil mineral anorganik, akan bereaksi dengan oksigen dari udara pada suhu tinggi, menghasilkan berbagai polutan. Ketika pembakaran berlangsung sempurna, karbon dalam batu bara bereaksi dengan oksigen menghasilkan karbon dioksida (CO_2). Pembakaran tidak sempurna, yang terjadi ketika pasokan oksigen tidak memadai, akan menghasilkan karbon monoksida (CO) (Sulistio, 2023). Mineral anorganik yang terkandung dalam batu bara tidak terbakar dan akan menjadi partikel padat halus. Partikel-partikel ini, terutama yang berukuran PM2,5 dan PM10, dapat terbawa oleh gas buang dan terlepas ke atmosfer jika sistem filtrasi tidak efisien. Gas-gas hasil pembakaran seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NOx) dapat bereaksi di atmosfer membentuk partikel sekunder (misalnya, sulfat dan nitrat) yang juga berkontribusi pada PM2,5. Selain itu, hidrokarbon yang tidak terbakar sempurna juga dapat membentuk partikel organik (Triningsih *et al*., 2024).

2.4 Prosedur Pengukuran dan Analisis Data

Pengukuran kualitas udara dilakukan melalui dua pendekatan:

1. **Monitoring 24 Jam:** Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu 1 jam pada dua titik, yaitu di RT4 pada bulan Juni 2024 (berjarak sekitar 3 km dari PLTU) dan RT14 pada bulan Juli 2024 (berjarak sekitar 1,5 km dari PLTU).
2. **Pengukuran di 6 Titik Lokasi:** Pengukuran dilakukan pada siang hari (sekitar pukul 10:00 - 12:00 WIB) di enam titik lokasi berbeda pada bulan Juni dan Juli 2024. Setiap titik dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali dalam interval waktu 30 sekon per titik. Durasi 30 sekon ini dipilih berdasarkan pertimbangan praktis dan teknis. Secara praktis, durasi ini memungkinkan pengambilan data yang efisien di banyak titik dalam waktu terbatas, sekaligus meminimalkan pengaruh fluktuasi sesaat yang sangat cepat. Secara teknis, durasi ini dianggap cukup untuk mendapatkan pembacaan yang stabil dari *Air Quality Detector* yang digunakan, serta konsisten dengan metode pengambilan sampel cepat yang sering diterapkan dalam studi lapangan untuk memantau variabilitas spasial polutan secara efektif.

Analisis data menggunakan metode kuantitatif dan deskriptif. Metode kuantitatif digunakan untuk menganalisis hasil berdasarkan nilai-nilai data yang diperoleh dan membandingkannya dengan batas ambang yang telah ditetapkan pemerintah. Sedangkan untuk metode deskriptif, data PM2,5, PM10, CO, dan CO_2 dalam interval waktu yang diperoleh dari pengolahan menggunakan *software Microsoft Excel* dijabarkan dalam bentuk grafik dan pembuatan peta sebaran kualitas udara di wilayah Teluk Sepang menggunakan *software ArcGis*.

2.5 Standar Kualitas Udara dan Ambang Batas

Untuk mengevaluasi kualitas udara, hasil pengukuran dibandingkan dengan beberapa standar dan ambang batas yang relevan dari peraturan pemerintah dan lembaga terkait:

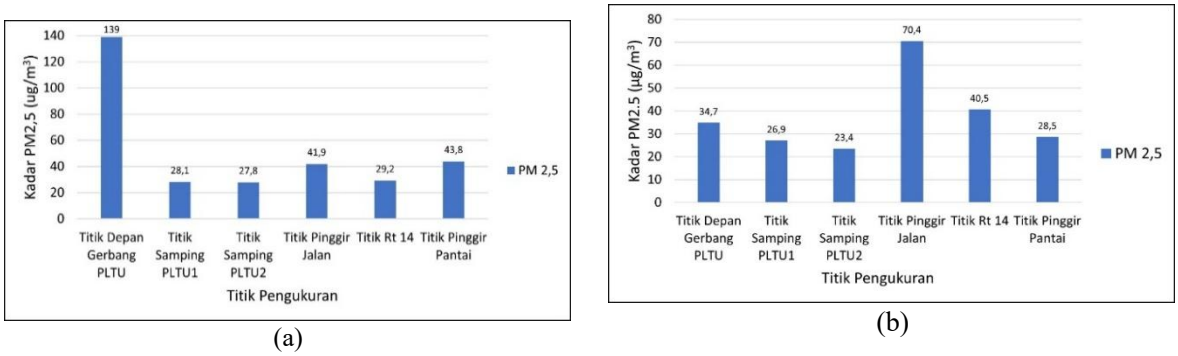
1. ***Particulate Matter* (PM2.5)**: Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (PPRI) Nomor 22 Tahun 2021, ambang batas harian untuk PM2.5 adalah 55 µg/m³ (Wellid *et al*., 2024). Sementara itu, menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) kategori kualitas udara berdasarkan konsentrasi PM2.5 adalah 0-15.5 µg/m³: Baik, 15.6-55.4 µg/m³: Sedang, 55.5-150.4 µg/m³: Tidak sehat, 150.5-250.4 µg/m³: Sangat tidak sehat, >250.5 µg/m³: Berbahaya.
2. ***Particulate Matter* (PM10):** PPRI Nomor 22 Tahun 2021 menetapkan ambang batas harian sebesar 75 µg/m³ (Wellid *et al*., 2024). Untuk standar baku mutu berdasarkan BMKG konsentrasi PM10 meliputi "Aman" (<50 µg/m³), "Sedang" (51 - 150 µg/m³), dan "Tidak Sehat" (151 - 350 µg/m³) (Hardiyan & Zulistyawan, 2023).

3. **Karbon Monoksida (CO):** Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia (Permenaker) Nomor 13 Tahun 2012 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) faktor fisika dan kimia di tempat kerja, NAB untuk karbon monoksida (CO) ditetapkan sebesar 25 ppm.
4. **Karbon Dioksida (CO_2):** Menurut buletin WHO (2005) adalah 310 - 330 ppm, sedangkan udara termasuk tercemar jika kadar CO_2 mencapai 350–700 ppm.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kadar *Particulate Matter* 2,5 (PM2,5)

Penelitian ini mengukur kadar PM2,5 di 6 titik berbeda di sekitar PLTU Teluk Sepang pada bulan Juni dan Juli 2024. Hasil pengukuran ini kemudian dibandingkan dengan baku mutu udara ambien yang ditetapkan dalam PPRI Nomor 22 Tahun 2021 serta standar kualitas udara menurut BMKG. Hasil pengukuran lapangan kadar PM2,5 dapat dilihat pada Gambar 2.

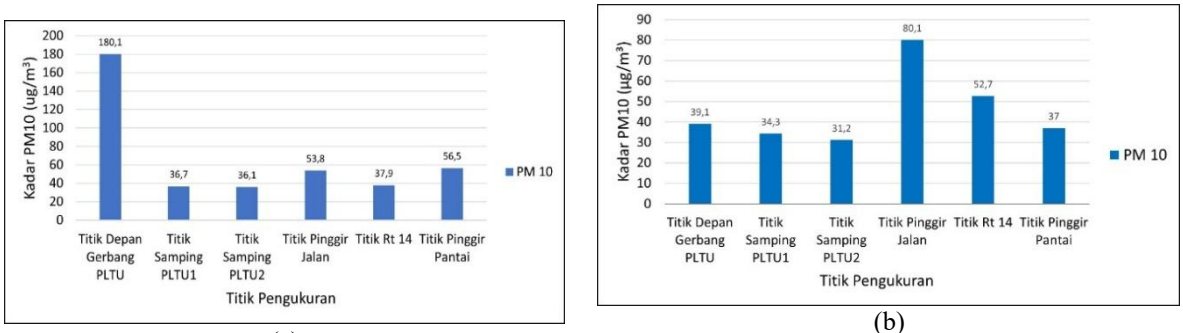


Gambar 2. Kadar PM2,5 (µg/m³) di 6 titik pengukuran sekitar area PLTU Teluk Sepang (a) Juni 2024 (b) Juli 2024

Pada Juni 2024, kadar PM2,5 tertinggi tercatat di Titik Depan Gerbang PLTU (139 µg/m³), yang dikategorikan "Tidak Sehat" berdasarkan standar BMKG. Titik lainnya umumnya berada dalam kategori "Sedang", meskipun Titik Pinggir Pantai (43,8 µg/m³) dan Titik Pinggir Jalan (41,9 µg/m³) mendekati ambang batas "Tidak Sehat". Pada Juli 2024, terjadi pergeseran pola konsentrasi. Titik Pinggir Jalan menunjukkan peningkatan drastis menjadi 70.4 µg/m³, melampaui baku mutu dan masuk kategori "Tidak Sehat". Peningkatan ini kemungkinan besar disebabkan oleh akumulasi debu di jalan dan peningkatan aktivitas kendaraan pengangkut batu bara, diperparah oleh kondisi meteorologis seperti kecepatan angin, suhu, dan kelembaban (Pertiwi *et al*., 2024). Sebaliknya, Titik Depan Gerbang PLTU mengalami penurunan signifikan menjadi 34.7 µg/m³, kembali ke kategori "Sedang", yang dapat dihubungkan dengan perubahan aktivitas transportasi operasional PLTU. Fluktuasi kecil diamati pada titik lain, namun secara keseluruhan, kadar PM2,5 di sekitar PLTU Teluk Sepang berfluktuasi antara kategori "Sedang" hingga "Tidak Sehat", mengindikasikan perlunya langkah mitigasi untuk melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan.

3.2 Kadar *Particulate Matter* 10 (PM10)

Untuk melengkapi analisis partikulat di udara, kadar PM10 juga diukur di lokasi yang sama dan pada periode yang sama. PM10 yang berukuran lebih besar dibandingkan PM2,5 memiliki potensi bahaya kesehatan, terutama jika konsentrasinya melebihi ambang batas. Distribusi dan fluktuasinya dapat dilihat pada Gambar 3.



(a) (b)

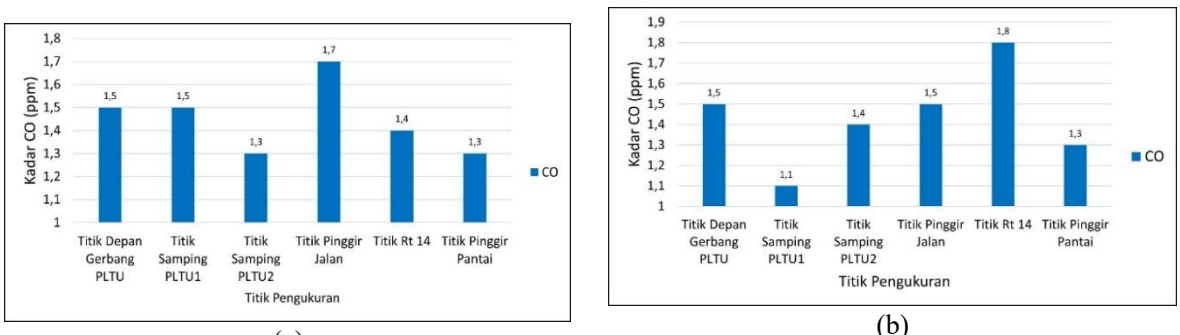
Gambar 3. Kadar PM10 (µg/m3) di 6 titik pengukuran sekitar area PLTU Teluk Sepang (a) Juni 2024 (b) Juli 2024

Pada Juni 2024, kadar PM10 di Titik Depan Gerbang PLTU (180,1 µg/m³) melebihi baku mutu harian (75 µg/m³) dan masuk kategori "Tidak Sehat" (>151 µg/m³). Hal ini utamanya disebabkan oleh aktivitas operasional PLTU dan lalu lintas kendaraan berat yang menghasilkan emisi tinggi di area tersebut. Titik Samping PLTU1 (36,7 µg/m³) dan PLTU2 (36,1 µg/m³) berada dalam kategori "Aman" (<50 µg/m³), karena lokasinya relatif jauh dari sumber emisi utama. Titik Pinggir Jalan (53,8 µg/m³) dan Titik Pinggir Pantai (56.5 µg/m³) memenuhi baku mutu harian namun masuk kategori "Sedang", dipengaruhi oleh polusi lalu lintas dan dispersi partikel dari area sekitar PLTU. Titik RT 14 (37,9 µg/m³) juga berada dalam kategori "Aman" dengan aktivitas manusia yang lebih rendah.

Pada Juli 2024, kadar PM10 di Titik Depan Gerbang PLTU (39,1 µg/m³) turun drastis dan masuk kategori "Aman", kemungkinan karena pengurangan aktivitas operasional kendaraan PLTU dan kondisi atmosfer yang lebih baik. Titik Samping PLTU1 (34,3 µg/m³) dan PLTU2 (31,2 µg/m³) tetap "Aman". Namun, Titik Pinggir Jalan (80.1 µg/m³) mengalami peningkatan dan melebihi baku mutu harian, masuk kategori "Sedang", yang disebabkan oleh polusi lalu lintas kendaraan selama musim kemarau dan tumpukan *stockfile* batu bara di sepanjang jalan. Titik RT 14 (52.7 µg/m³) masuk kategori "Sedang", sementara Titik Pinggir Pantai (37 µg/m³) tetap "Aman". Secara keseluruhan, kualitas udara terkait PM10 di sekitar PLTU Teluk Sepang pada kedua bulan masih memenuhi baku mutu nasional, kecuali pada beberapa titik tertentu yang memerlukan perhatian lebih untuk pengendalian polusi udara.

3.3 Kadar Karbon Monoksida (CO)

Selain partikel debu, gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO juga dapat berdampak serius bagi kesehatan jika terakumulasi dalam kadar tinggi. Grafik Gambar 4 menyajikan kadar CO di 6 titik pengukuran.



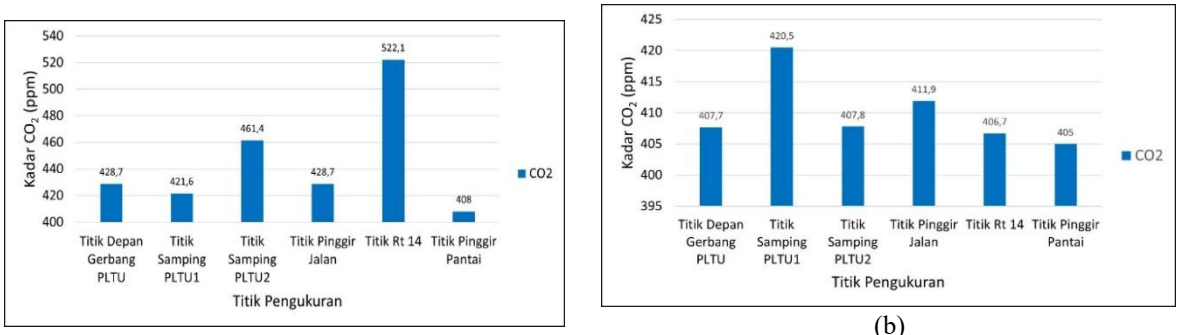
(a) (b)

Gambar 4. Kadar CO (ppm) di 6 titik pengukuran sekitar area PLTU Teluk Sepang (a) Juni 2024 (b) Juli 2024

Pemantauan kadar Karbon Monoksida (CO) di enam titik pada Juni dan Juli 2024 menunjukkan konsentrasi yang sangat rendah, berkisar antara 1-3 ppm. Seluruh titik pengukuran berada jauh di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) 25 ppm yang ditetapkan oleh Permenaker No.13 Tahun 2012. Ini mengindikasikan bahwa operasional PLTU Teluk Sepang tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan konsentrasi CO di udara ambien yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat berdasarkan regulasi yang berlaku. Meskipun demikian, pemantauan berkala tetap diperlukan untuk mengidentifikasi tren jangka panjang.

3.4 Kadar Karbon Dioksida (CO_2)

Karbon dioksida (CO_2) juga menjadi perhatian utama dalam studi ini karena dapat menunjukkan tingkat pencemaran udara dan kontribusi emisi dari PLTU. Kadar CO_2 di setiap titik pengukuran pada dua bulan pengamatan ditampilkan dalam Gambar 5.

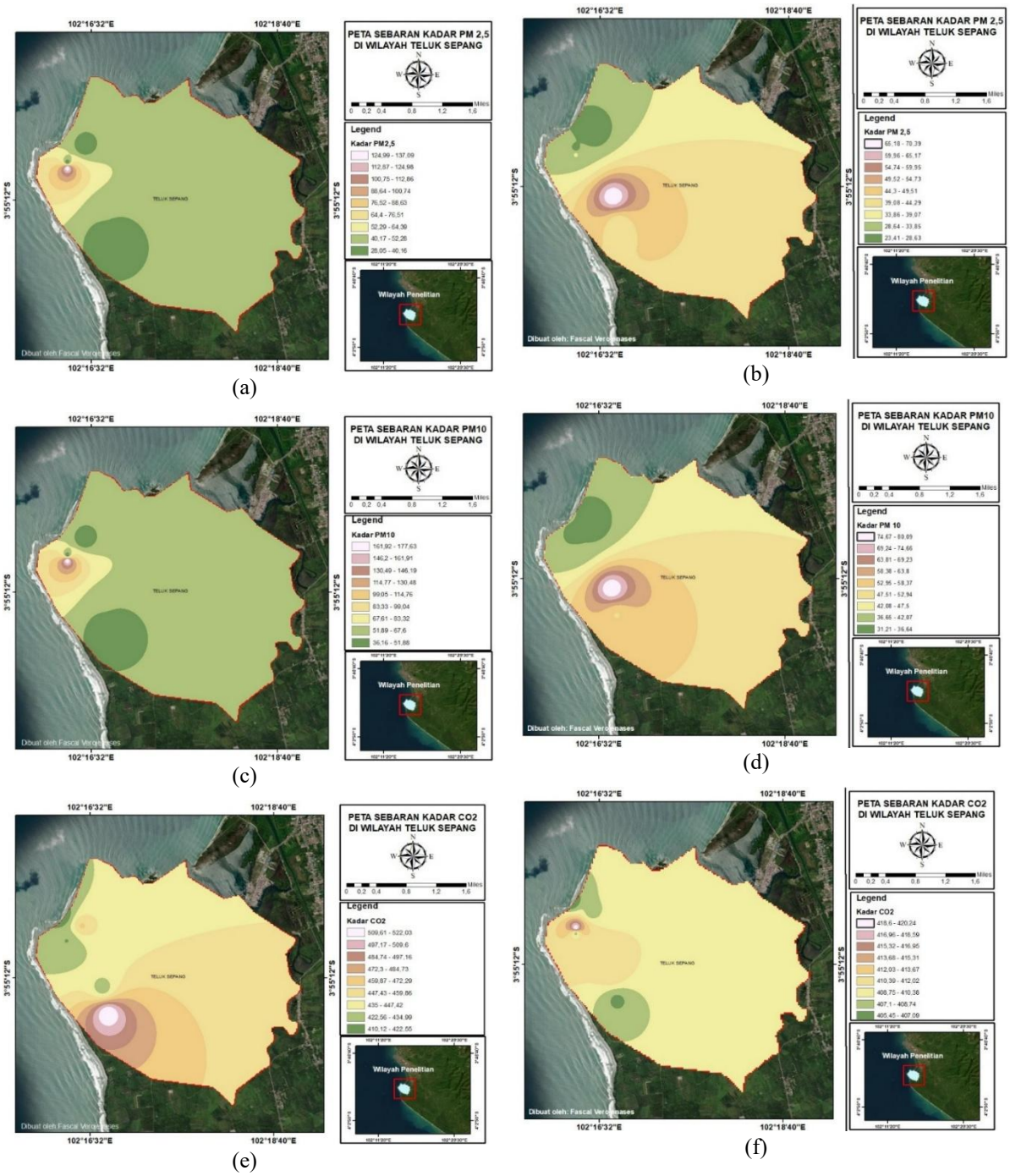


Gambar 5. Kadar CO_2 (ppm) di 6 titik pengukuran sekitar area PLTU Teluk Sepang (a) Juni 2024 (b) Juli 2024

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar CO_2 di semua titik pada bulan Juni dan Juli berada di atas ambang batas udara bersih (310-330 ppm) dan masuk dalam kategori udara tercemar (350-700 ppm) menurut buletin WHO (2005). Pada Juni 2024, kadar CO_2 tertinggi ditemukan di Titik RT 14 (522,1 ppm), kemungkinan disebabkan oleh akumulasi emisi dari aktivitas manusia dan penyebaran gas buang PLTU. Titik Samping PLTU2 (461.4 ppm), Titik Depan Gerbang PLTU, dan Pinggir Jalan (masing-masing 428,7 ppm) juga menunjukkan kadar tinggi yang terkait dengan operasional PLTU dan aktivitas lalu lintas. Titik Pinggir Pantai menunjukkan konsentrasi terendah (408 ppm), namun tetap dalam kategori tercemar. Terjadi penurunan kadar CO_2 yang signifikan pada hampir semua titik pengukuran dari Juni ke Juli 2024, terutama di Titik RT 14 (dari 522,1 ppm menjadi 406,7 ppm) dan Titik Samping PLTU2 (dari 461,4 ppm menjadi 407,8 ppm). Penurunan ini dapat dikaitkan dengan berkurangnya aktivitas manusia yang menghasilkan emisi tambahan, peningkatan kecepatan angin yang meningkatkan dispersi polutan, atau perubahan pola operasional PLTU. Meskipun demikian, kadar CO_2 di semua titik pada bulan Juli masih termasuk dalam kategori udara tercemar. Kadar CO_2 yang tinggi ini mengindikasikan bahwa kualitas udara di sekitar PLTU Teluk Sepang tidak memenuhi standar udara bersih, dan seringkali berasosiasi dengan polutan lain seperti partikulat, SO_2, dan NOx yang dihasilkan dari pembakaran batu bara PLTU.

3.5 Peta Sebaran Kadar PM2,5, PM10, dan CO_2

Pemetaan sebaran kadar PM2,5, PM10, dan CO_2 penting dalam mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami dampak signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Data kadar PM2,5, PM10, dan CO_2 yang diperoleh dari enam titik pengukuran di sekitar PLTU Teluk Sepang pada bulan Juni dan Juli 2024 diolah menjadi peta sebaran dengan rentang warna dari hijau (kadar rendah) hingga abu-abu (kadar tinggi). Pada gambar 6, warna abu-abu menunjukkan kadar PM2.5 tertinggi yang berpotensi memiliki dampak lebih besar terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat, sedangkan warna hijau menunjukkan kadar terendah yang relatif lebih aman. Peta-peta di Gambar 6 memberikan visualisasi yang jelas mengenai area dengan kadar PM2,5, PM10, dan CO_2 tertinggi, yang dapat menjadi fokus perhatian dalam upaya mitigasi dan pengendalian polusi udara.



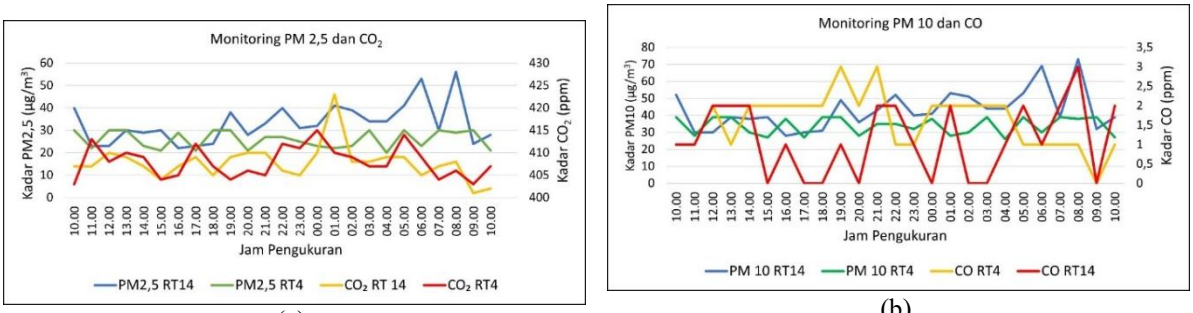
Gambar 6. Peta Sebaran Kadar PM2,5 (µg/m3), PM10 (µg/m3), CO (ppm), dan CO2 (ppm) dari 6 titik pengukuran di Wilayah Teluk Sepang (a) Sebaran PM2,5 Juni 2024 (b) Sebaran PM2,5 juli 2024 (c) Sebaran PM10 Juni 2024 (d) Sebaran PM10 Juli 2024 (e) Sebaran CO2 Juni 2024 (f) Sebaran CO2 Juli 2024

3.6 Monitoring 24 Jam Kadar *Particulate Matter* 2,5 (PM2,5), *Partculate Matter* 10 (PM10), Karbon Monoksida (CO), dan Karbon Dioksida (CO_2)

Monitoring kualitas udara selama 24 jam dilakukan di titik RT 4 (Juni 2024) dan RT 14 (Juli 2024) untuk menganalisis pola fluktuasi konsentrasi polutan dan mengidentifikasi potensi sumber emisi. Hasil pemantauan disajikan pada Gambar 7.

Seperti yang ditunjukkan Gambar 7(a), kadar PM2,5 pada Juni 2024 di RT 4 relatif rendah (20-30 µg/m³), berada dalam kategori "Sedang" menurut BMKG, dan tidak melebihi baku mutu harian PPRI. Namun, pada Juli 2024 di RT 14, kadar PM2.5 bervariasi antara 20-57 µg/m³, dengan puncak konsentrasi sekitar pukul 07:00-08:00 WIB mencapai 57 µg/m³, yang melebihi baku mutu harian PPRI (55 µg/m³) dan masuk kategori "Tidak Sehat" menurut BMKG. Secara umum, kadar PM2.5 di RT 14

(Juli 2024) cenderung lebih tinggi dibandingkan RT 4 (Juni 2024), mengindikasikan perbedaan sumber emisi atau kondisi meteorologi. Sementara Gambar 7(b) menunjukkan kadar PM10 pada Juni 2024 di RT 4 berkisar antara 20-50 µg/m³, seluruhnya dalam kategori "Aman". Pada Juli 2024 di RT 14, kadar PM10 bervariasi antara 30-74 µg/m³, dengan puncak konsentrasi sekitar pukul 08:00 WIB mendekati baku mutu harian (70 µg/m³). Sebagian besar waktu berada dalam kategori "Aman" namun mendekati batas "Sedang". Kadar PM10 di RT 14 juga lebih tinggi dibandingkan RT 4, menunjukkan pola serupa dengan PM2.5.



(a) (b)

Gambar 7. (a) Monitoring 24 Jam Kadar PM2,5 (µg/m^3) dan Kadar CO_2 (ppm) di titik RT 4 pada Juni 2024 dan titik RT14 Juli 2024 (b) Monitoring 24 Jam Kadar PM10 (µg/m^3) dan Kadar CO (ppm) di titik RT 4 pada Juni 2024 dan titik RT 14 Juli 2024

Kadar CO di kedua titik pengukuran (RT 4 dan RT 4) sangat rendah, berkisar antara 1-3 ppm, jauh di bawah NAB 25 ppm menurut Permenaker No.13 Tahun 2012 seperti yang terlihat pada Gambar 7(b). Ini menunjukkan bahwa CO bukan polutan utama yang mencemari udara di area penelitian dan tidak berisiko langsung terhadap kesehatan manusia.

Gambar 7(a) menunjukkkan kadar CO_2 di kedua titik pengukuran (RT 4 dan RT 14) berada di atas 400 ppm sepanjang waktu, mengindikasikan bahwa udara di area ini telah mengalami pencemaran CO_2 menurut WHO (2005). Pada Juni 2024, kadar CO_2 berkisar antara 400-415 ppm. Pada Juli 2024, kadar CO_2 berkisar antara 405-425 ppm, dengan puncak konsentrasi sekitar pukul 01:00 WIB mencapai 425 ppm. Kondisi ini dapat berdampak pada kualitas udara dalam ruangan dan berkontribusi pada efek gas rumah kaca.

Berdasarkan Gambar 7, secara keseluruhan kadar PM2.5, PM10, dan CO_2 lebih tinggi di RT 14 (Juli 2024) dibandingkan RT 4 (Juni 2024). Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, pada Juni terjadi hujan ringan hingga sedang yang mengurangi akumulasi polutan, sedangkan Juli adalah musim kemarau. Musim kemarau juga berkontribusi pada pembakaran spontan batu bara di stockpile (swabakar) yang menghasilkan asap, terutama karena tumpukan batu bara sangat dekat dengan pemukiman warga (Perdana et al., 2023). Peningkatan konsentrasi polutan dari tengah malam hingga pagi hari diperkirakan karena meningkatnya lalu lintas kendaraan berat pengangkut batu bara yang menyebabkan debu beterbangan, serta aktivitas operasional PLTU (suara bising sekitar pukul 01:00-04:00 WIB) yang kemungkinan sedang melakukan pembakaran batu bara dan menghasilkan gas emisi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kualitas udara di sekitar PLTU Teluk Sepang menunjukkan kondisi tercemar, terutama terkait dengan kadar PM2,5, PM10, dan CO_2 yang secara signifikan melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah dan standar kesehatan. Kadar PM2,5 dan PM10 mengalami peningkatan signifikan pada titik-titik tertentu akibat aktivitas operasional PLTU dan lalu lintas kendaraan berat, yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat. Meskipun kadar CO masih dalam batas aman, kadar CO_2 yang tinggi mengindikasikan udara telah mengalami pencemaran, yang dapat berdampak pada lingkungan dan memperburuk efek gas rumah kaca. Hasil ini menegaskan perlunya pengelolaan kualitas udara yang lebih ketat di sekitar PLTU, seperti penerapan sistem filtrasi emisi yang lebih efektif, peningkatan pengawasan lingkungan, serta edukasi kepada masyarakat mengenai mitigasi dampak polusi udara. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan kajian lebih mendalam mengenai dampak jangka

panjang pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat serta pengaruh faktor meteorologis terhadap distribusi polutan di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Anjelicha, D., Riviwanto, M., & Wijayantono, W. (2022). Analisis Risiko Penyakit Paru Obstruksi Kronis Akibat Paparan Debu PM2.5 pada Pekerja Mebel Kayu CV Mekar Baru Kota Padang. *Jurnal Sehat Mandiri*, *17*(1), 115–125. https://doi.org/10.33761/jsm.v17i1.598

Faruk, F., & Indra, A. (2020). Dampak PLTU Tidore Terhadap Lingkungan Udara, Kesejahteraan dan Kesehatan Masyarakat Tidore. *Dintek*, *13*(2), 38–49.

Hardiyan, I. A., & Zulistyawan, K. A. (2023). Identifikasi Konsentrasi CO, CO2, NO2, SO2, dan PM10 yang Terukur di Stasiun GAW Bukit Kototabang Selama Mudik Lebaran Tahun 2019-2023. *Megasains*, *14*(2), 39–47.

Kurniawan, D., Sulistiyanti, S. R., & Murdika, U. (2023). Sistem Pemantau Gas Karbon Monoksida (CO) Dan Karbon Dioksida (CO2) Menggunakan Sensor Mq7 Dan Mq-135 Terintegrasi Telegram. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *11*(2), 200–206. https://doi.org/10.23960/jitet.v11i2.2963

Lumakeki, O., Hariyadi, H., Tombuku, J. L., Karauwan, F. A., & Montolalu, F. M. (2021). Analisis Kualitas Udara PLTU Amurang. *Majalah INFO Sains*, *2*(2), 13–19. https://doi.org/10.55724/jis.v2i2.30

Naimah, K., Darmawan, A. M., Irfandi, M., Pradini, P., & Sinaga, S. G. (2024). Analisis Kualitas Udara Pada Ruangan UPT PLTS Dan Laboratorium Teknik Sisitem Energi. *9*(1), 31–42.

Najmi, A., Tonis, M., & Asmarita. (2021). Studi Kualitatif PM10 Dan PM2,5 Dengan Keluhan Subjektif ISPA di SDN 55 Pekanbaru. *Journal of STIKes Awal Bros Pekanbaru*, *2*(2), 1–10. https://doi.org/10.54973/jsabp.v2i2.144

Nugroho, A., Asror, I., & Wibowo, Y. F. A. (2023). Klasifikasi Tingkat Kualitas Udara DKI Jakarta Berdasarkan *Open Government Data* Menggunakan Algoritma *Random Forest. EProceedings of Engineering*, *10*, *No. 2*(2), 1824–1834.

Oktaviani, S., Siregar, S. H., Fauzi, R., Reflis, R., & Utama, S. P. (2023). Gangguan Ekosistem Laut sebagai Dampak Keberadaan PLTU Teluk Sepang Bengkulu: Sebuah Telaah Pustaka. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, *2*(6), 1061–1068. https://doi.org/10.55123/insologi.v2i6.2828

Perdana, A. R., Indiani Pangastuti, A., & Donni Haryanto, Y. (2023). Analisis Konsentrasi PM10 Dan PM2.5 Pada Titik Pemantauan Bundaran HI Jakarta Pusat Periode Data Februari-Oktober 2021. *Jurnal Samudra Geografi*, *6*(1), 1–8. https://doi.org/10.33059/jsg.v6i1.7158

Pertiwi, K. D., Lestari, I. P., & Afandi, A. (2024). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Debu PM10 dan PM2.5 pada Relawan Lalu Lintas di Jalan Diponegoro Ungaran. *6*, 85–91.

Pratama, A, Sulistya Wardaya, I. P. H. (2021). Upaya Resolusi Konflik Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Teluk Sepang, Bengkulu. *Community*, *7*(1), 26–39.

Rosidin, N. N. R., & Dirgawati, M. (2023). Kajian Literatur : Kemampuan Aerosol Optical Depth (AOD) dalam Memprediksi Kualitas Udara Parameter PM2,5. *Prosiding FTSP Series*, 1975–1983. https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/2760

Rumampuk, G. C., Poekoel, V. C., & Rumagit, A. M. (2021). *Internet of Things-Based Indoor Air Quality Monitoring System Design* Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Informatika*, *17*(Internet of Things-Based Indoor Air Quality Monitoring System Design Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet of Things), 11–18.

Saniyyah, N. (2018). Dampak Sosial Lingkungan Pembangunan Infrastruktur (Studi Kasus: Proyek Pembangunan PLTU Teluk Sepang Bengkulu). *3*(2), 91–102.

Sulistio, M. I. L. (2023). *Analisis Kualitas Udara Ambien Parameter CO Dan CO2 Di D.I. Yogyakarta*.

Susetyo, A. R., Nas, C., & Suliestyah, S. (2020). Analisis Kebutuhan Udara Untuk Pembakaran Batubara Pada Boiler Unit 3 Di PLTU Suralaya. *Advanced Materials Research*, *18–19*(2), 415–421. https://doi.org/10.4028/0-87849-450-2.415

Triningsih, P. R., Fendri, A., & Syofiarti, S. (2024). *Pengawasan Terhadap Penanggulangan Pencemaran Udara Akibat Limbah Asap Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Ombilin Oleh Pemerintah Daerah Kota Sawahlunto*. *2507*(1), 1–9.

Wellid, I., Simbolon, L. M., Falahuddin, M. A., Nurfitriani, N., Sumeru, K., Bin Sukri, M. F., & Yuningsih, N. (2024). Evaluasi Polusi Udara PM2.5 dan PM10 di Kota Bandung serta Kaitannya dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *23*(2), 128–136. https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.128-136

Wulan1, S., Liza Lidiawati2, Dirhan3, D. D. M. (2022). Dampak PM2,5 Terhadap Jumlah Kasus Rawat Jalan Penyakit Paru Obstruktif Kronis Di Kota Bengkulu. *Jurnal Kesehatan Saintika Meditory*, *4*(4657), 78–84.

Yunita, E., Rahmaniah, & Fitriyanti. (2017). Analisis Potensi dan Karakteristik Limbah Padat Fly Ash dan Bottom Ash Hasil dari Pembakaran Batubarata pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Semen Tonasa. *(JFT) Jurnal Fisika Dan Terapannya*, *4*(1), 93–106.