

Pemodelan Polusi Udara akibat Pengalihan Lalu Lintas dari Pembangunan *Fly Over* Aloha Sidoarjo

Maritha Nilam Kusuma¹ dan Mar'atus Sholikhah¹

¹Teknik Lingkungan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya; e-mail: maritha.kusuma@itats.ac.id

ABSTRAK

Pemerintah berupaya menangani kemacetan di Kabupaten Sidoarjo dengan membangun *Fly Over* Aloha. Pengalihan lalu lintas akibat pembangunan tersebut menyebabkan kenaikan paparan emisi gas buang kendaraan bermotor di beberapa titik tertentu sehingga berdampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Kecamatan Gedangan termasuk pusat industri di Provinsi Jawa Timur dengan aktivitas lalu lintas yang padat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa korelasi volume kendaraan terhadap kualitas udara menggunakan variabel hari kerja dan hari libur terhadap konsentrasi parameter pencemar CO, PM₁₀ & PM_{2.5} di sekitar Jalan Ahmad Yani dan melakukan analisa pemodelan menggunakan *Software* AERMOD. Metode yang digunakan adalah metode monitoring dengan dilakukan pemantauan secara berkala dalam rentang waktu tertentu. Hasil menunjukkan bahwa jumlah kendaraan terbanyak yang melintas di Jalan Ahmad Yani terdapat pada Selasa pagi (09/05/2023) sebesar 5.990 unit/jam dengan konsentrasi PM₁₀ 147,85 µg/m³ dan PM_{2.5} 72,85 µg/m³. Volume kendaraan berkorelasi dengan nilai konsentrasi pencemar. Berdasarkan uji statistik One Way Anova konsentrasi rata-rata Karbon Monoksida tidak berbeda signifikan antara hari kerja dan hari libur sedangkan parameter PM₁₀ dan PM_{2.5} memiliki beda signifikan antara hari kerja dan hari libur. Konsentrasi CO berkisar antara 5.471 µg/m³ - 6.489 µg/m³, PM₁₀ berkisar antara 35,23 µg/m³ - 101,79 µg/m³, PM_{2.5} berkisar antara 9,43 µg/m³ - 46,1 µg/m³.

Kata kunci: AERMOD, Karbon Monoksida, *Particulate Matter*, Pemodelan

ABSTRACT

The government is trying to deal with traffic jams in Sidoarjo Regency by building the Aloha Fly Over. The diversion of traffic due to this development causes an increase in exposure to motor vehicle exhaust emissions at certain points, thus having a negative impact on health and the surrounding environment. Gedangan District is an industrial center in East Java Province with heavy traffic activity. The aim of this research is to analyze the correlation of vehicle volume with air quality using weekday and holiday variables on the concentration of CO, PM₁₀ & PM_{2.5} pollutant parameters around Jalan Ahmad Yani and carry out modeling analysis using AERMOD Software. The method used is a monitoring method where monitoring is carried out periodically within a certain time span. The results show that the highest number of vehicles passing on Jalan Ahmad Yani was on Tuesday morning (09/05/2023) at 5,990 units/hour with a concentration of PM₁₀ 147.85 µg/m³ and PM_{2.5} 72.85 µg/m³. Vehicle volume is correlated with pollutant concentration values. Based on the One Way Anova statistical test, the average concentration of Carbon Monoxide is not significantly different between weekdays and holidays, while the parameters PM₁₀ and PM_{2.5} have significant differences between weekdays and holidays. CO concentrations ranged from 5,471 µg/m³ - 6,489 µg/m³, PM₁₀ ranged from 35.23 µg/m³ - 101.79 µg/m³, PM_{2.5} ranged from 9.43 µg/m³ - 46.1 µg/m³.

Keywords: AERMOD, Carbon Monoxide, *Particulate Matter*, Modelling

Citation: Kusuma, M.N. dan Sholikhah, M. (2024). Pemodelan Polusi Udara Akibat Pengalihan Lalu Lintas Dari Pembangunan *Fly Over* Aloha Sidoarjo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 923-932, doi:10.14710/jil.22.4.923-932

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara merujuk pada timbulnya atau penyusupan zat, energi, dan unsur lain ke dalam atmosfer akibat aktivitas manusia, yang mengakibatkan kualitas udara melewati ambang baku mutu yang telah ditetapkan. Kualitas udara yang terkontaminasi oleh kandungan zat-zat pencemar disebut sebagai udara yang tercemar, dan hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan serta mengancam kehidupan manusia. Kemajuan teknologi

berkontribusi pada memburuknya kondisi pencemaran udara, karena semakin banyaknya sumber polusi udara yang dihasilkan oleh berbagai teknologi yang terus berkembang. Pencemaran udara timbul akibat adanya zat-zat pencemar atau polutan dalam udara. Setiap jenis polutan memiliki efek yang berbeda dari jenis lainnya. Beberapa zat yang menjadi penyebab pencemaran udara meliputi Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), Hidrokarbon

(HC), Chloro Fluoro Carbon (CFC), Timbal (Pb), dan *Particulate Matter* (PM_{10}) (Abidin & Hasibuan, 2019).

Pencemaran udara timbul akibat perubahan komposisi udara dari keadaannya yang normal akibat penetrasi zat-zat pencemar berupa gas dan partikel ke dalam atmosfer. Polusi udara yang berasal dari kegiatan transportasi adalah hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna, menghasilkan emisi gas yang dikeluarkan melalui knalpot kendaraan. Banyak kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas buang yang merugikan lingkungan dikarenakan kurangnya perawatan yang memadai dan penggunaan bahan bakar berkualitas rendah. Emisi gas buang yang timbul dari kendaraan meliputi Suspended Particulate Matter (SPM), Sulfur Oksida (SO_2), Nitrogen Oksida (NO_2), Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO), Timbal atau timah hitam (Pb), serta Oksigen Fotokimia (Ox). Emisi total yang dihasilkan oleh aktivitas transportasi, yang berada pada urutan kedua tertinggi setelah NO_x , adalah Particulate Matter yang mencapai 70%. (Ismiyati et al., 2014).

Pencemaran udara disebabkan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal dari pencemaran udara berasal dari bumi dan bersifat alami seperti, partikel pencemar dari letusan gunung berapi, partikel debu yang tertiuip angin, dan gas berbau yang dihasilkan selama proses dekomposisi mikroba. Faktor eksternal dari pencemaran udara berasal dari aktivitas manusia seperti masuknya polutan ke atmosfer dari pembakaran bahan bakar fosil di industri dan kendaraan bermotor, dispersi partikel dari aktivitas industri, pelepasan zat berbahaya ke lingkungan dalam bentuk bahan kimia berbahaya dari kegiatan teknologi, dan sebagainya. Contoh pencemaran udara yang disebabkan oleh kegiatan manusia adalah emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang menyumbang gas beracun berupa Nitrogen Oksida (NO dan NO_2), Karbon Monoksida (CO), timbal dan senyawa organik lainnya. Berbagai industri seperti industri kimia, industri semen, industri makanan dan industri kertas termasuk dalam penyumbang emisi pencemar udara (Seran et al., 2022).

Emisi gas buang membawa dampak negatif bagi kesehatan manusia dan keadaan ekologi kota. Komposisi emisi gas yang dihasilkan bervariasi sesuai dengan jenis mesin yang digunakan (Okrot et al., 2022). Faktor yang mempengaruhi terjadinya pencemaran udara adalah sumber emisi, jumlah emisi, kondisi meteorologi dan topografi dan tata guna lahan (Kusuma et al., 2023).

Gas Karbon Monoksida (CO) adalah gas beracun yang tidak menyebabkan iritasi, tidak berwarna dan tidak berbau sehingga tidak dapat terdeteksi melalui bau dan rasa. Karbon Monoksida menjadi salah satu zat pencemar yang membahayakan manusia. Terhirupnya Karbon Oksida (CO) oleh manusia dapat membentuk COHb dan meningkatkan kadar hemoglobin pada darah (Lestari et al., 2021).

Karbon Monoksida (CO) memiliki peran penting dalam kimia atmosfer karena dapat menghilangkan

radikal hidroksil (OH) dari atmosfer. Emisi Karbon Monoksida (CO) berimplikasi terhadap iklim karena mempengaruhi konsentrasi gas rumah kaca seperti ozon dan metana. Paparan CO ke atmosfer dapat terjadi secara alami atau antropogenik dari aktivitas manusia. Emisi dari aktivitas manusia (antropogenik) berasal dari bahan bakar fosil, pembakaran biofuel dan pembakaran sisa tanaman. Produksi gas Karbon Monoksida juga berasal dari rangkaian reaksi oksidasi VOC (*Volatile Organic Compounds*) di troposfer. Kegiatan industri dan urbanisasi juga menjadi penyumbang beban CO yang cukup besar di dunia (I et al., 2020).

Interaksi Karbon Monoksida dengan molekul hemoglobin 240 kali lebih besar dari oksigen dan dapat memproduksi karboksihemoglobin dengan menghilangkan sebagian oksigen pada aliran darah. Jika CO terhirup, jaringan hipoksia mempengaruhi area aliran darah dan kebutuhan akan oksigen. Sensitivitas CO dengan hemoglobin 60 kali lebih besar dari oksigen sehingga memicu terjadinya gagal jantung dan hipotensi. Racun pada Karbon Monoksida (CO) dapat menghambat rantai transpor elektron. COHb yang rendah dengan nilai 1-9% dalam tubuh dapat menyebabkan nyeri dada dan memicu terjadinya penyakit jantung (Payus et al., 2019).

Kadar karbon monoksida (CO) yang dihirup oleh manusia sejalan dengan risiko yang diterima, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan dampak fatal seperti kematian. Gas karbon monoksida memiliki kemampuan mengikat hemoglobin (Hb) sekitar 240 kali lebih kuat daripada kemampuannya mengikat oksigen (O_2). Tanda-tanda yang muncul ketika kadar karbon monoksida dalam darah cukup tinggi adalah rasa pusing (pada kadar HbCO 10%), kesulitan bernapas dan rasa mual (pada kadar HbCO 20%), penurunan konsentrasi dan gangguan penglihatan (pada kadar HbCO 30%), kehilangan kesadaran atau koma (pada kadar HbCO 40-50%), dan jika persentase terus meningkat, dapat mengakibatkan kematian (Hasairin & Siregar, 2018). Orang yang paling terpengaruh paparan CO adalah anak-anak, orang tua, orang dengan penyakit pernapasan dan kardiovaskular, orang dengan penyakit anemia dan perokok (Barbulescu & Barbes, 2017).

Particulate Matter (PM) adalah campuran partikel cair dan padat dengan diameter advectif kurang dari $2,5 \mu m$ ($PM_{2.5}$ - partikel halus) dan $2,5$ hingga $10 \mu m$ (PM_{10} - partikel kasar). PM dapat dilepaskan sebagai polutan, asap dan debu dari sumber tertentu seperti lokasi konstruksi, pembangkit listrik, kendaraan bermotor, pembakaran kayu perumahan, pembakaran limbah, kegiatan penggilingan dan beberapa proses industri. PM juga dapat muncul dari reaksi kimia sekunder atau kompleks lainnya di atmosfer, seperti Nitrogen Oksida dan Sulfur Dioksida dari pembakaran dan pembangkit listrik. Secara umum, paparan PM memiliki efek kesehatan negatif yang signifikan. Beberapa survei WHO menemukan bahwa lebih dari 91% penduduk dunia tinggal di daerah dengan kualitas udara yang buruk akibat

Partikel ($PM_{2.5}$ dan PM_{10}), Ozon (O_3), Sulfur Dioksida (SO_2), dan Nitrogen Dioksida (NO_2) (Lala et al., 2023).

Toksistasitas *Particulate Matter* muncul dari dua aspek. Pertama, partikulat dapat menembus daerah pertukaran gas paru-paru dan menyusup ke sistem peredaran darah melalui lapisan obstruksi alveolar. Kedua, partikulat dapat menyerap banyak zat beracun lainnya di udara pada area permukaannya, seperti logam berat, hidrokarbon aromatik polisiklik, dan ion organik dan anorganik (Wu et al., 2018).

Aktivitas sehari-hari yang dapat meningkatkan nilai pencemar PM_{10} yaitu kegiatan membersihkan, menggunakan perangkat elektronik atau karpet yang mengandung PM serta kegiatan memasak dengan tungku (Rojano et al., 2023). Di daerah perkotaan, banyak aktivitas manusia yang dilakukan di pinggir jalan sehingga polusi PM_{10} dapat mengancam kesehatan masyarakat. Berbagai infrastruktur jalan kota besar dibangun vegetasi (ruang terbuka hijau) dengan tujuan dapat mengurangi tingkat pencemaran udara. Fungsi lain dari vegetasi tersebut adalah sebagai pengurangan polusi suara, sarana penghematan energi dan dapat meningkatkan kesehatan serta kesejahteraan masyarakat (Zheng et al., 2021).

Evaluasi kualitas udara umumnya dilaksanakan dengan membandingkan kadar polutan yang terukur dengan standar kualitas udara yang ditetapkan secara nasional. Pedoman terkait hal ini diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor KEP50/MENLH/11/1996 telah mengatur tentang standar tingkat kualitas udara yang diterima, dengan pemerintah memandatkan setiap kegiatan dan usaha untuk melaksanakan upaya pengendalian terhadap pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan. (Zahra et al., 2022). Peninjauan peraturan perlu dilakukan untuk kemajuan kualitas udara agar memenuhi standar kualitas udara internasional. Semakin tinggi nilai standar kualitas udara dapat meningkatkan perlindungan kesehatan warga di suatu negara (Rafael et al., 2021).

Pemantauan kualitas udara dilakukan di berbagai daerah agar memudahkan masyarakat dalam mengetahui kualitas udara di lingkungan sekitar mereka serta sebagai mitigasi pencegahan pencemaran udara. Pemantauan ekstra perlu dilakukan di kota besar dengan tingkat kemacetan yang tinggi dan daerah industri. Kecamatan Gedangan merupakan salah satu pusat industri di Kabupaten Sidoarjo yang letaknya berada di sisi selatan Kota Surabaya. Letaknya yang strategis dan berpotensi sebagai penggerak perekonomian masyarakat menyebabkan adanya kenaikan populasi penduduk. Pertambahan jumlah penduduk tidak hanya berasal dari masyarakat lokal melainkan juga masyarakat pendatang. Kenaikan tersebut selaras dengan peningkatan jumlah kendaraan yang berkelanjutan sehingga menyebabkan macet yang sulit diatasi.

Pemerintah berupaya melakukan penanganan kemacetan dengan membangun *Fly over* (jalan layang) untuk mengurai kemacetan di Kabupaten Sidoarjo. Dampak dari kegiatan pembangunan tersebut adalah kenaikan tingkat kemacetan di beberapa ruas jalan penghubung imbas dari penutupan jalan di sekitar lokasi kegiatan. Salah satu jalan terdampak yaitu Jalan Ahmad Yani yang berada di Kecamatan Gedangan, Kabupaten Sidoarjo. Kondisi tersebut dapat memperburuk kualitas udara di Kabupaten Sidoarjo, khususnya di Kecamatan Gedangan. Menurut data Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) Kabupaten Sidoarjo, nilai Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) mencapai 84,83 pada tahun 2019 dan mengalami kenaikan 1,13 poin dari tahun 2018. Tujuan dari penelitian adalah melakukan pemantauan kualitas udara untuk mengetahui perubahan kualitas udara dari kenaikan tingkat kemacetan akibat adanya kegiatan tersebut. Tindak lanjut berupa pemodelan dilakukan untuk mengetahui tingkat sebaran pencemaran udara sebagai mitigasi pencegahan pencemaran udara (Pratama et al., 2022).

2. METODE PENELITIAN

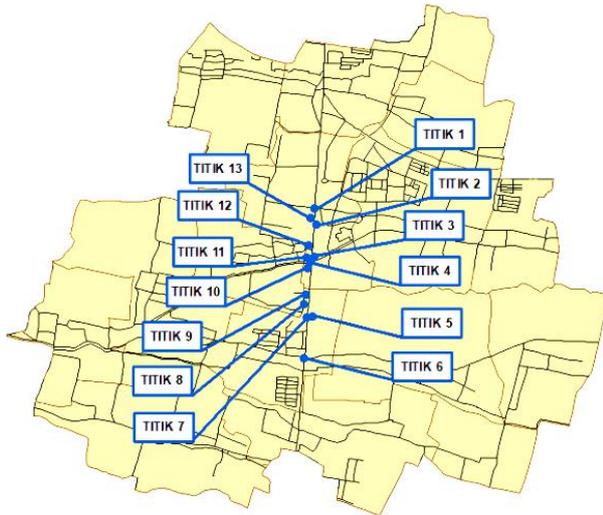
Penelitian ini dilakukan pada minggu kedua Bulan Mei (untuk pemantauan *Particulate Matter*) dan minggu kedua Bulan Juni (untuk pemantauan Karbon Monoksida) di sekitar Jalan Ahmad Yani Kecamatan Gedangan Kabupaten Sidoarjo. Perbedaan waktu pemantauan kualitas udara dengan kedua parameter tersebut adalah karena keterbatasan alat yang digunakan untuk pengukuran. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode monitoring dimana pemantauan kualitas udara dilakukan secara berulang pada hari yang sama. Pemantauan konsentrasi *Particulate Matter* dilakukan pada 13 titik sampling dan 4 titik sampling untuk pemantau konsentrasi Karbon Monoksida (CO).



Gambar 1. Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

Pengukuran volume kendaraan dilakukan pada jam puncak kepadatan lalu lintas yaitu pukul 07.00 – 08.00 (pagi), 12.00 – 13.00 (siang) dan 17.00 – 18.00 (sore). Alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi Karbon Monoksida (CO) adalah CO Meter merek Lutron GCO 2008 dan untuk pengukuran

konsentrasi PM₁₀ & PM_{2,5} adalah Aeroqual Series 500 Portable Monitor.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Untuk pengukuran konsentrasi PM₁₀ dan PM_{2,5} terdapat 3 area sampling yaitu di jalan raya, permukiman warga dan ruang terbuka hijau. Pemilihan titik sampling dilakukan dengan memperhatikan interpretasi keterwakilan wilayah studi. Pemantauan difokuskan pada 3 lokasi utama yaitu Jalan raya, permukiman warga dan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Lokasi sampling dengan fokus area jalan raya terdapat pada titik 1, 4, 6, 7. Lokasi sampling yang terletak di permukiman warga terdapat pada titik 2, 3, 12 (Permukiman dengan jarak 5 m dari jalan raya) dengan titik 8, 9, 10, 11 (Permukiman dengan jarak 10 m dari jalan raya). Sedangkan untuk titik 5 dan 13 adalah ruang terbuka hijau. Sedangkan pemantauan konsentrasi karbon Monoksida (CO) dilakukan pada 4 titik sampling yaitu pada titik 4 dan 7 yang merupakan area jalan raya, titik 8 merupakan permukiman warga dan titik 13 berupa ruang terbuka hijau.

Uji Korelasi Pearson, dilakukan untuk mengetahui korelasi dari jumlah kendaraan yang melintas dengan nilai konsentrasi CO, PM₁₀ & PM_{2,5}.

Uji One Way Anova, dilakukan untuk mengetahui pengaruh hari kerja dan hari libur terhadap konsentrasi CO, PM₁₀ & PM_{2,5}. Pengujian dilakukan dengan Software SPSS.

Analisa pemodelan, dapat digunakan untuk mengetahui sumber polutan dan dapat memperkirakan sebaran emisinya (Forehead & Huynh, 2018). Pemodelan dilakukan dengan Software Aermid View. Aermid direkomendasikan sebagai model pencemar udara karena relatif sederhana dan dapat digunakan untuk sumber terbuka (Yang et al., 2023)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jumlah Kendaraan

Jumlah kendaraan terbanyak yang melintasi Jalan Ahmad Yani secara berurutan adalah sepeda motor, mobil dan truk. Kendaraan yang jarang melintas adalah bus. Dari Tabel 1. dapat diketahui bahwa pada pemantauan pertama hari Selasa (09/05/2023) jumlah kendaraan yang melintas sebanyak 17.172 unit/jam. Hari Kamis (11/05/2023) sebanyak 16.195 unit/jam dan hari Minggu (14/05/2023) sebanyak 13.264 unit/jam. Sedangkan pada pemantauan kedua hari Selasa (06/06/2023) jumlah kendaraan yang melintas sebanyak 16.603 unit/jam. Hari Kamis (08/06/2023) sebanyak 17.015 unit/jam dan hari Minggu (14/06/2023) sebanyak 13.181 unit/jam

Lebih banyak kendaraan yang melintas pada hari kerja (*weekday*) dibandingkan dengan hari libur (*weekend*) di Jalan Ahmad Yani Kecamatan Gedangan. Hal tersebut dibuktikan dengan selisih dari jumlah kendaraan yang melintas pada hari Selasa dan Kamis (*weekday*) memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan jumlah kendaraan yang melintas pada hari minggu (*weekend*) Kepadatan lalu lintas cenderung terjadi pada pagi hari karena mayoritas masyarakat mulai beraktivitas dan sore hari saat masyarakat mengakhiri aktivitasnya. Jumlah kendaraan yang melintas pada siang hari cenderung sedikit karena tidak banyak masyarakat yang beraktifitas pada waktu tersebut. Volume kendaraan terbanyak terdapat pada hari Selasa (09/05/2023) sebesar 17.172 unit/jam. Volume kendaraan terendah terdapat pada pengukuran hari Minggu (14/06/2023) sebesar 13.181 unit/jam.

3.2. Konsentrasi Pencemar

Konsentrasi pencemar *Particulate Matter* 10 berdasarkan hasil pemantauan pada minggu kedua Bulan Mei dan telah dikonversi dengan persamaan Canter. Tujuan dari konversi Canter adalah untuk mencapai konsentrasi yang sesuai dengan konsentrasi partikulat di udara selama 24 jam sesuai dengan standar baku mutu pada beberapa peraturan yang berlaku. Pengukuran dilakukan pada 13 titik sampling dengan hasil tertinggi pada pengukuran hari Selasa (09/05/2023) di titik 6 sebesar 126,71 µg/m³. Nilai konsentrasi terendah terdapat pada pengukuran hari Minggu (14/05/2023) di titik 10 dengan nilai sebesar 15,20 µg/m³.

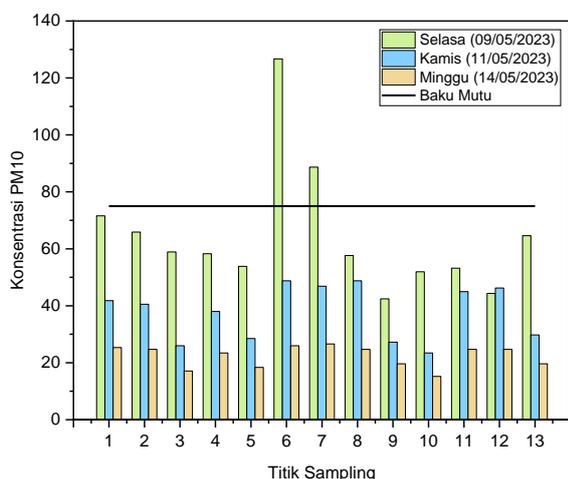
Dari Gambar 2, terlihat bahwa nilai rata-rata konsentrasi PM₁₀ berada di bawah batas standar yang telah ditetapkan, sesuai dengan acuan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Peraturan ini menjelaskan bahwa ambang batas kualitas udara untuk PM₁₀ dalam jangka waktu 24 jam adalah 75 µg/m³. Namun, terdapat dua titik pengambilan sampel yang menunjukkan hasil yang melampaui batas standar tersebut, yaitu titik 6 dan 7 pada pengukuran hari Selasa.

Tabel 1. Jumlah kendaraan yang melintas di Jalan Ahmad Yani Kecamatan Gedangan

Hari	Waktu	Jumlah Kendaraan (Unit/jam)			
		Sepeda Motor	Mobil	Bus	Truk
Selasa, 09 Mei 2023	Pagi	3,553	1,905	36	496
	Siang	2,989	1,743	34	525
	Sore	3,396	2,073	26	396
Total		17,172			
Kamis, 11 Mei 2023	Pagi	3,323	1,823	27	455
	Siang	2,820	1,642	28	499
	Sore	3,238	1,964	15	361
Total		16,195			
Minggu, 14 Mei 2023	Pagi	2,574	1,517	26	412
	Siang	2,398	1,349	24	462
	Sore	2,662	1,471	13	356
Total		13,264			
Selasa, 06 Juni 2023	Pagi	3,425	1,914	30	453
	Siang	2,977	1,685	24	462
	Sore	3,262	1,968	13	390
Total		16,603			
Kamis, 08 Juni 2023	Pagi	3,365	1,862	32	504
	Siang	3,093	1,749	34	462
	Sore	3,308	2,142	27	437
Total		17,015			
Minggu, 14 Juni 2023	Pagi	2,586	1,471	24	398
	Siang	2,447	1,316	25	435
	Sore	2,702	1,424	13	340
Total		13,181			

Sumber data diolah dari hasil penelitian

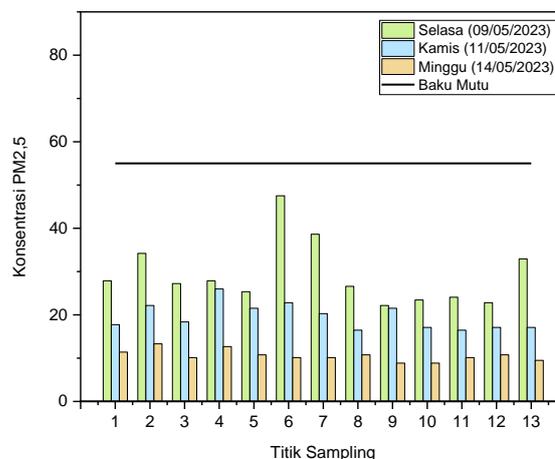
Hasil tersebut selaras dengan penelitian Amrizal & Munfarida, 2021 yang dilakukan di Kota Surabaya. Nilai tertinggi konsentrasi PM₁₀ terdapat pada hari jumat sebesar 102,99 µg/m³ (titik 4) dan pada hari kamis sebesar 110,71 µg/m³ (titik 6) yang mewakili hari kerja (*weekday*). Sedangkan konsentrasi PM₁₀ dengan nilai terendah terdapat pada hari sabtu sebesar 50,15 µg/m³ (titik 1) yang mewakili hari libur (*weekend*).



Gambar 2. Grafik Perbandingan PM₁₀ dengan Baku Mutu

Konsentrasi pencemar *Particulate Matter* 2,5 diukur pada minggu kedua bulan Mei. Pengukuran dilakukan pada 13 titik sampling. Dari Gambar 3. merupakan hasil pengukuran PM_{2,5} yang telah dikonversi dengan konversi Canter. Nilai konsentrasi tertinggi terdapat pada titik 6 pengukuran hari Selasa (09/05/2023) sebesar 47,52 µg/m³. Nilai

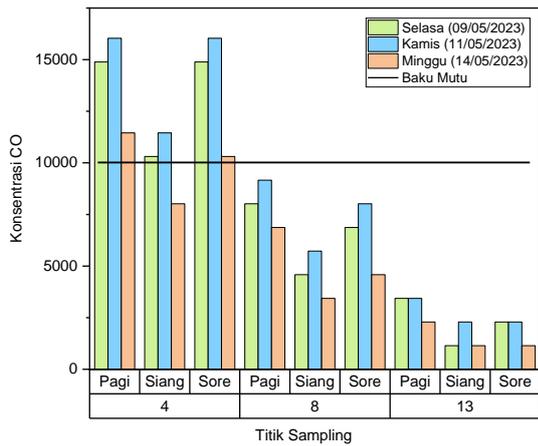
konsentrasi terendah terdapat pada titik 8 dan 9 pada pengukuran hari Minggu (14/05/2023) sebesar 8,87 µg/m³.



Gambar 3. Grafik Perbandingan PM_{2,5} dengan Baku Mutu

Terlihat bahwa nilai rata-rata pengukuran PM_{2,5} memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan, sesuai dengan ketentuan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Standar ini mengindikasikan bahwa konsentrasi PM_{2,5} yang diizinkan adalah maksimal 55 µg/m³ dalam rentang waktu pengujian selama 24 jam.

Hasil penelitian tersebut sebanding dengan penelitian Muliane & Lestari, 2014 dimana konsentrasi PM_{2,5} di Bundaran HI dan Kelapa Gading paling tinggi sama-sama terjadi di hari kerja (*weekday*) dan konsentrasi paling rendah terjadi di hari libur (*weekend*).



Gambar 4. Grafik Perbandingan CO dengan Baku Mutu

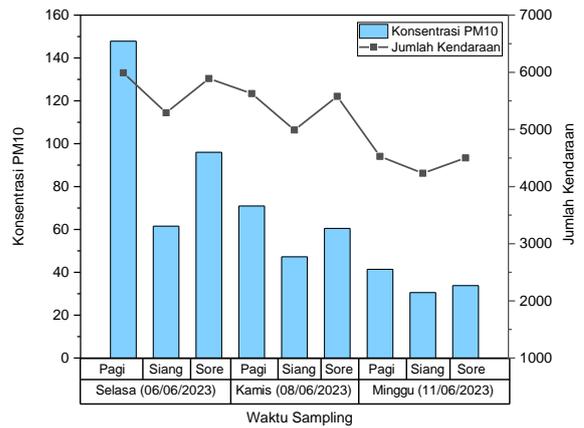
Konsentrasi Pencemar Karbon Monoksida (CO) berdasarkan hasil pemantauan pada 3 titik sampling didapatkan nilai konsentrasi tertinggi pada titik 4 pengukuran hari Kamis (08/06/2023) pagi dan sore dengan nilai 16.033 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pengukuran terendah terdapat pada titik 13 pada pengukuran Kamis siang (08/06/2023) dan pengukuran Minggu (11/06/2023) siang dan sore dengan nilai sebesar 1.145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Berdasarkan Gambar 4, rata-rata hasil pengukuran dengan nilai tinggi terdapat pada titik sampling 4 yang merupakan jalan raya. Rata-rata hasil pengukuran dengan nilai rendah terdapat pada titik 13 yang merupakan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Jika dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.22 Tahun 2021 dimana nilai maksimal yang diperbolehkan untuk konsentrasi Karbon Monoksida (CO) adalah 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ maka terdapat nilai konsentrasi yang melebihi ambang baku mutu yaitu pada hasil pengukuran titik 13 kecuali pada pengukuran Minggu (11/06/2023) siang dengan nilai 8.016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga memenuhi standar baku mutu. Rata-rata hasil pengukuran pada titik 8 yang merupakan area permukiman warga dan titik 13 yang merupakan Ruang Terbuka Hijau (RTH) masih memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

Hasil penelitian tersebut selaras dengan hasil penelitian Ginting & Mirwan, 2022 terdapat perbandingan konsentrasi CO dengan nilai tertinggi sebesar 4470,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada hari Selasa (*weekday*) dan mengalami penurunan yang signifikan pada hari minggu (*weekend*).

3.3. Uji Korelasi Pearson

Data dari uji Korelasi Pearson menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara jumlah kendaraan dengan konsentrasi pencemar $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} dan CO. Banyak atau sedikitnya jumlah kendaraan yang melintas di Jl. A. Yani memiliki pengaruh terhadap nilai konsentrasi pencemaran yang diukur.



Gambar 5. Grafik Korelasi Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi PM_{10}

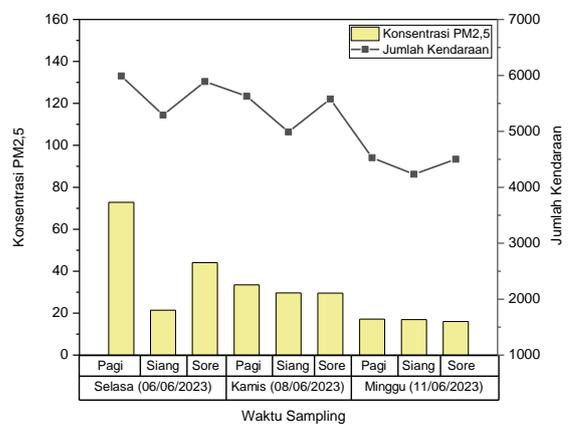
Tabel 2. Hasil Uji Korelasi Pearson antara Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi PM_{10}

Correlations			
		Jumlah Kendaraan	Konsentrasi PM_{10}
Jumlah Kendaraan	Pearson Correlation	1	.848**
	Sig (2-tailed)		.004
	N	9	9
Konsentrasi PM_{10}	Pearson Correlation	.848**	1
	Sig (2-tailed)	.004	
	N	9	9

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Gambar 5 memperlihatkan bahwa garis yang mewakili jumlah kendaraan bergerak sejalan dengan grafik batang yang menggambarkan konsentrasi pencemaran. Dari Tabel 2. Menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari konsentrasi PM_{10} dan jumlah kendaraan 0,004. Jika nilai signifikansi < 0,05 maka data dinyatakan memiliki korelasi/keterkaitan dan bernilai positif sehingga kenaikan jumlah kendaraan sejalan dengan tingginya konsentrasi pencemar.

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (Syari et al., 2020) yang menyebutkan bahwa berdasarkan perhitungan dengan SPSS di dapatkan nilai signifikansi 0,000 dan disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang kuat dari kedua variabel tersebut.



Gambar 6. Grafik Korelasi Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$

Tabel 3. Hasil Uji Korelasi Pearson antara Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi PM_{2,5}

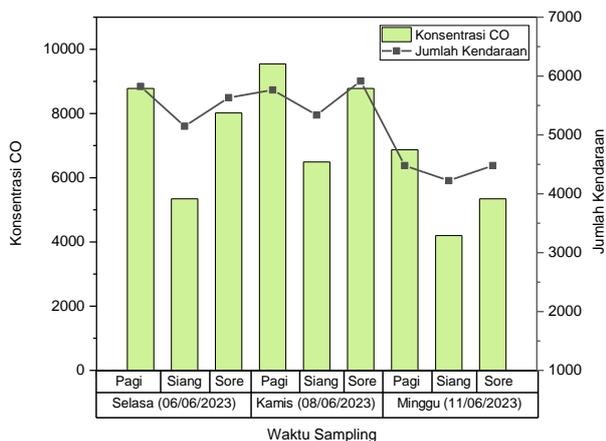
Correlations			
		Jumlah Kendaraan	Konsentrasi PM 2,5
Jumlah Kendaraan	Pearson Correlation	1	.802**
	Sig (2-tailed)		.009
	N	9	9
Konsentrasi PM 2,5	Pearson Correlation	.802**	1
	Sig (2-tailed)	.009	
	N	9	9

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari Gambar 6 diketahui bahwa tinggi rendahnya konsentrasi sebanding dengan garis yang menunjukkan jumlah kendaraan melintas. Hasil uji One Way Anova pada Tabel 3 menunjukkan nilai signifikansi dari konsentrasi PM_{2,5} dan jumlah kendaraan adalah 0,009. Terdapat korelasi sempurna antara kedua data tersebut karena nilai signifikansi yang ditunjukkan <0,05.

Jumlah kendaraan terbanyak yang melintas di Jalan Ahmad Yani terdapat pada Selasa pagi (09/05/2023) sebesar 5.990 unit/jam dengan konsentrasi PM₁₀ 147,85 µg/m³ dan PM_{2,5} 72,85 µg/m³. Jika volume kendaraan tinggi maka nilai konsentrasi pencemar *Particulate* juga tinggi, begitupun sebaliknya jika volume kendaraan rendah maka terjadi penurunan nilai konsentrasi.

Hasil tersebut sebanding dengan penelitian (Syari et al., 2020) dimana nilai signifikansi korelasi jumlah kendaraan dan konsentrasi PM_{2,5} sebesar 0,001 sehingga terdapat hubungan dari kedua variabel tersebut.



Gambar 7. Grafik Korelasi Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi CO

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa tingginya jumlah kendaraan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi pencemar. Semakin tinggi jumlah kendaraan yang melintas maka semakin tinggi juga nilai konsentrasi pencemar Karbon Monoksida (CO). Sebaliknya, jika jumlah kendaraan yang melintas sedikit maka nilai konsentrasi pencemar CO mengalami penurunan. Volume

kendaraan tertinggi terdapat pada pengukuran kamis sore (08/06/2023) jumlah kendaraan sebesar 5.914 unit/jam dengan nilai konsentrasi CO 9.543 µg/m³.

Tabel 4. Hasil Uji Korelasi Pearson antara Jumlah Kendaraan dengan Konsentrasi CO

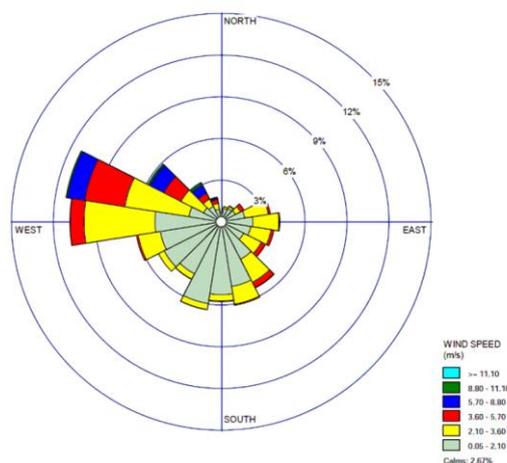
Correlations			
		Jumlah Kendaraan	Konsentrasi CO
Jumlah Kendaraan	Pearson Correlation	1	.856**
	Sig (2-tailed)		.003
	N	9	9
Konsentrasi CO	Pearson Correlation	.856**	1
	Sig (2-tailed)	.003	
	N	9	9

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Hasil uji One Way Anova menunjukkan nilai signifikansi 0,81 dan bernilai >0,05. Disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Nilai rata-rata konsentrasi CO pada hari kerja dan hari libur hanya memiliki sedikit perbedaan dikarenakan lokasi pengambilan sampel yang sedikit dengan lingkup wilayah yang homogen/hampir sama karakteristiknya.

3.4. Sebaran Emisi Konsentrasi Pencemar

Sebaran emisi konsentrasi pencemar diperoleh dengan pemodelan menggunakan software Aermod view. Data pendukung yang digunakan adalah nilai beban emisi dari perhitungan konsentrasi CO, PM10 & PM2,5. Beban emisi adalah jumlah pencemar (massa) yang dihasilkan oleh sumber pencemar dari sumber titik, garis maupun area (Handriyono 2017). Data meteorologi yang digunakan untuk mengetahui distribusi sebaran angin. Data yang digunakan adalah data dengan kurun waktu 6 bulan (Januari 2023 – Juni 2023). Data meteorologi diambil dari stasiun terdekat yaitu Stasiun Juanda dengan koordinat 07°23'03"70 S ; 112°47'02"68 E dan elevasi ± 3 m.



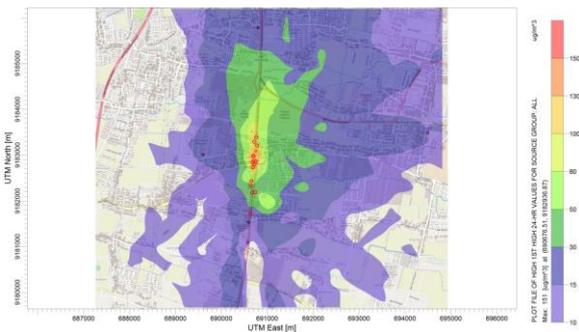
Gambar 8. Hasil *Wind Rose* Bulan Januari – Juni 2023

Pada Gambar 8 merupakan wind rose dari data meteorologi bulan Januari – Juni 2023 yang diolah

dengan *software* Wind Rose Plot. Panjang dari setiap garis yang membentuk kelopak mawar menunjukkan frekuensi berhembusnya angin dari arah tersebut. Dapat diketahui bahwa arah angin dominan berasal dari arah barat dengan presentase frekuensi angin sebesar 11%. Semakin cepat angin berhembus maka sebaran polutan dapat bergerak lebih jauh dari sumbernya.

Dalam pemodelan AERMOD data meteorologi mentah harus disusun ke dalam format yang diperlukan model AERMOD. Data permukaan per jam (*hourly surface data*) diatur ke format SCRAM. Data udara atas (*upper air*) diatur dalam format FSL. Hasil penyusunan tersebut menghasilkan dua data dengan format SCF dan PFL. Data permukaan per jam (*hourly surface data*) terdiri dari kecepatan angin (*wind speed*), arah angin (*wind direction*), suhu sekitar (*temperature*), tutupan awan (*cloud cover*) dan tinggi langit-langit (*ceiling height*). Data udara atas (*upper air*) terdiri dari tekanan atmosfer (*pressure*), ketinggian (*heights*), suhu (*temperature*), suhu titik embun (*dew point temperature*), kecepatan angin (*wind speed*) dan arah angin (*wind direction*) (Katika & Karuchit, 2018).

AERMOD terdiri dari dua sub-program yaitu AERMET dan AERMAP. Masing-masing program tersebut berfungsi untuk menyiapkan informasi meteorologi dan informasi medan geologi untuk program AERMOD. AERMAP menggunakan peta medan dengan tipe STRM3/STRM1 dari WebGIS berdasarkan STRM3 (Global 90 m) dan datum horizontal berupa WGS 84. AERMET menggunakan data meteorologi yang telah diatur dalam format SCRAM dan FSL. Dalam model AERMOD, data yang dimasukkan berupa sumber polutan, sumber industri, perumahan, lalu lintas dan reseptor (Katika & Karuchit, 2018).

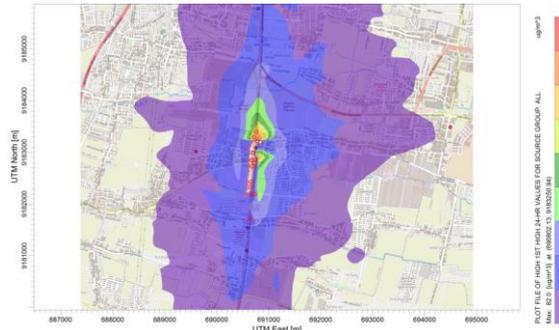


Gambar 9. Hasil Pemodelan Sebaran PM₁₀

Berdasarkan Gambar 9 nilai maksimum konsentrasi PM₁₀ dari hasil pemodelan sebesar 151 µg/m³ yang ditandai dengan zona berwarna merah. Konsentrasi pencemar tertinggi terdapat pada titik sampling 4 dan sekitarnya yang merupakan perempatan jalan. Zona dengan warna merah terdapat pada sekitar titik sampling 4 yang merupakan perempatan jalan dengan koordinat 690719.59 m Timur dan 9182802.96 m Selatan.

Sebaran cenderung bergerak dari barat ke arah timur, sesuai dengan hasil sebaran pada *wind rose*.

Area permukiman warga yang berjarak 5 m – 10 m dari Jalan Ahmad Yani berada pada zona berwarna jingga dan orange. Berdasarkan legenda, klasifikasi warna jingga dan orange memiliki nilai pencemar 150 µg/m³ – 100 µg/m³ dan melebihi standar baku mutu Pada PP RI No.22 Tahun 2021 sehingga dapat membawa dampak buruk bagi masyarakat yang tinggal di area tersebut.



Gambar 10. Hasil Pemodelan Sebaran PM_{2,5}

Hasil pemodelansi PM_{2,5} pada Gambar 10 memiliki nilai maksimum sebesar 82 µg/m³ dan melebihi standar baku mutu Pada PP RI No.22 Tahun 2021 sehingga dapat membawa dampak buruk bagi manusia, hewan dan lingkungan sekitarnya. Zona berwarna merah berada di sekitar titik sampling 1 dengan koordinat 690759.41 m Timur dan 9183394.17 m Selatan yang merupakan ujung Jalan Ahmad Yani. Zona merah berada pada sumber pencemar, diikuti dengan warna jingga dan orange yang berada di sekitar area pemukiman warga. Terdapat lokasi dengan konsentrasi pencemar yang minim sehingga tidak memiliki klasifikasi warna. Hal tersebut disebabkan perbedaan karakteristik lokasi seperti faktor ketinggian gedung, nilai kelembaban dan kecepatan angin yang tinggi. Wilayah yang terdampak sebaran emisi dengan nilai konsentrasi yang cukup tinggi yaitu Kecamatan Gedangan.



Gambar 11. Hasil Pemodelan Sebaran CO

Berdasarkan Gambar 11, sebaran emisi CO cenderung bergerak dari arah barat ke timur. Nilai maksimum hasil pemodelan konsentrasi CO adalah 18.000 µg/m³ dan melebihi standar baku mutu Pada PP RI No.22 Tahun 2021. Konsentrasi CO yang tinggi

dapat memicu terjadinya efek keracunan dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Paparan CO dalam jangka waktu panjang dapat membawa resiko yang lebih besar.

Lokasi titik sampling 4 berada pada zona merah yang menunjukkan lokasi dengan konsentrasi pencemar yang tinggi sedangkan pada titik sampling 8 dan 13 berada di zona berwarna hijau muda yang menunjukkan lokasi dengan konsentrasi pencemar sedang. Semakin jauh suatu lokasi dari titik pusat pencemar maka nilai pencemarannya juga semakin kecil.

Dari ketiga gambar hasil pemodelan tersebut, dapat diketahui bahwa nilai maksimum yang dihasilkan lebih besar dari pada nilai hasil pemantauan secara *real time*. Zona merah berada di dekat sumber pencemar jalan raya, zona yang cukup berbahaya memiliki warna orange dan jingga yang terdapat pada permukiman warga di sekitar Jalan Ahmad Yani. Sebaran emisi tersebut berdampak signifikan bagi pengguna Jalan Ahmad Yani dan masyarakat yang berada di sekitarnya. Kecamatan lain yang terdampak sebaran emisi adalah Kecamatan Waru dan kecamatan Buduran

4. KESIMPULAN

Terdapat korelasi antara volume kendaraan dengan nilai konsentrasi pencemar dimana semakin banyak kendaraan yang melintas maka semakin tinggi beban pencemarnya.

Uji statistik One Way Anova menunjukkan konsentrasi rata-rata Karbon Monoksida tidak berbeda signifikan antara hari kerja dan hari libur sedangkan parameter PM₁₀ dan PM_{2,5} memiliki beda signifikan antara hari kerja dan hari libur. Konsentrasi CO berkisar antara 5.471 µg/m³ - 6.489 µg/m³, PM₁₀ berkisar antara 35,23 µg/m³ - 101,79 µg/m³, PM_{2,5} berkisar antara 9,43 µg/m³ - 46,1 µg/m³. 3)

Pemodelan dengan software AERMOD menunjukkan sebaran gas CO, PM₁₀ & PM_{2,5} cenderung bergerak sesuai arah angin dari barat ke timur dengan wilayah yang berdampak adalah Kecamatan Gedangan, Kecamatan Waru dan Kecamatan Buduran. Kisaran konsentrasi CO antara 300 µg/m³ - 21.600 µg/m³, PM₁₀ antara 10 µg/m³ - 151 µg/m³ dan PM_{2,5} antara 5 µg/m³ - 82 µg/m³.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, J., & Hasibuan, F. A. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau IV*.

Amrizal, Z., & Munfarida, I. (2021). *Pemetaan Particulate Matter (PM10) di Kawasan Bundaran Taman Pelangi Kota Surabaya*.

Barbulescu, A., & Barbes, L. (2017). Modeling the carbon monoxide dissipation in Timisoara, Romania. *Journal of Environmental Management*, 204, 831-

838.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.047>

- Forehead, H., & Huynh, N. (2018). Review of modelling air pollution from traffic at street-level—The state of the science. *Environmental Pollution*, 241, 775–786. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.019>
- Ginting, A. L., & Mirwan, M. (2022). Analisis Kualitas Udara Berdasarkan Volume Lalu Lintas di Jalan Kedung Cowek Surabaya. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(5), 603–613. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i5.1009>
- Hasairin, A., & Siregar, R. (2018). DETEKSI KANDUNGAN GAS KARBON MONOKSIDA (CO) HUBUNGAN DENGAN KEPADATAN LALU-LINTAS DI MEDAN SUNGGAL, KOTA MEDAN. *JURNAL BIOSAINS*, 4(1), 62. <https://doi.org/10.24114/jbio.v4i1.9841>
- I, N., Srivastava, S., Yarragunta, Y., Kumar, R., & Mitra, D. (2020). Distribution of surface carbon monoxide over the Indian subcontinent: Investigation of source contributions using WRF-Chem. *Atmospheric Environment*, 243, 117838. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117838>
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 1(3), 241. <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v1i3.23>
- Katika, K., & Karuchit, S. (2018). Estimation of Urban Air Pollutant Levels using AERMOD: A Case Study in Nakhon Ratchasima, Thailand. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 164, 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/164/1/012024>
- Kusuma, M., Handriyono, R., Hafizah, N., & Damayanti, T. (2023). Absorption of Carbon Dioxide Emissions from Industrial and Residential Sources by Green Open Space in Sukorejo Village, Gresik. *Journal of Ecological Engineering*, 24(1), 135–145. <https://doi.org/10.12911/22998993/156012>
- Lala, M. A., Onwunzo, C. S., Adesina, O. A., & Sonibare, J. A. (2023). Particulate matters pollution in selected areas of Nigeria: Spatial analysis and risk assessment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100288>
- Lestari, A., Subhi, M., & Yuniastuti, T. (2021). Analisis Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Co Pada Pedagang Di Pasar Kota Malang. *Media Husada Journal of Environmental Health*1(1).
- Muliane, U., & Lestari, P. (2014). Pemantauan Kualitas Udara Ambien Daerah Padat Lalu Lintas Dan Komersial DKI Jakarta: Analisis Konsentrasi PM_{2,5} Dan Black Carbon. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(2), 178–188. <https://doi.org/10.5614/jtl.2012.8.2.8>
- Okrut, S. V., Bezgina, J. A., Stepanenko, E. E., Zelenskaya, T. G., & Khalikova, V. A. (2022). Assessment of the Impact of Motor Transport on the Ecological State of Atmospheric Air of Urbanized Areas. *Transportation Research Procedia*, 61, 437–440. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.071>
- Payus, C. M., Vasu Thevan, A. T., & Sentian, J. (2019). Impact of school traffic on outdoor carbon monoxide levels. *City and Environment Interactions*, 4, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100032>
- Pratama, E. P. W., Widhiarto, H., & Rizkiardi, A. (2022). Analisis Kemacetan di Jalan A. Yani, Kecamatan Gedangan, Kabupaten Sidoarjo. *Ge-STRAM: Jurnal*

- Perencanaan dan Rekayasa Sipil, 05(02), 79–84. <https://doi.org/10.25139/jprs.v5i2.4649>
- Rafael, S., Rodrigues, V., Oliveira, K., Coelho, S., & Lopes, M. (2021). How to compute long-term averages for air quality assessment at urban areas? *Science of The Total Environment*, 795, 148603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148603>
- Rojano, R., Vengoechea, A. M., & Arregocés, H. A. (2023). Indoor/outdoor relationship of particulate matter (PM10) and its chemical composition in a coastal region of Colombia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100397. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100397>
- Seran, S. S., Henong, S. B., Semiun, O. E., & Pattiraja, A. H. (2022). Analisis Pencemaran Udara di Simpangan Bersinyal menggunakan Box Model (Studi Kasus Simpang Bersinyal Jl. Frans Seda). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6, 9295–9305.
- Syari, O., Lisha, S. Y., Si, M., Fitriada, W., & Si, S. (2020). Analisis Hubungan Karakteristik Lalu Lintas dengan Konsentrasi PM10 dan PM2,5 di Udara Ambien Jalan Prof. Dr. Hamka Kota Padang.
- Wu, J., Ge, D., Zhou, L., Hou, L., Zhou, Y., & Li, Q. (2018). Effects of particulate matter on allergic respiratory diseases. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 4(2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2018.04.001>
- Yang, Z., Evans, M. N., Buser, M. D., Hapeman, C. J., Torrents, A., & Whitelock, D. P. (2023). Improving modeling of low-altitude particulate matter emission and dispersion: A cotton gin case study. *Journal of Environmental Sciences*, 133, 8–22. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.03.048>
- Zahra, N. L., Haidar, F. A., Hanum, Y., Ramadhanti, D., Ramadhan, R., Rahman, A., Qonitan, F. D., & Ridhosari, B. (2022). Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Komplek Universitas Pertamina pada Masa Pandemi COVID-19: Monitoring of Ambient Air Quality in Universitas Pertamina Areas during the COVID-19 Pandemic. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(1), 084–091. <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i1.4597>
- Zheng, T., Jia, Y.-P., Zhang, S., Li, X.-B., Wu, Y., Wu, C.-L., He, H.-D., & Peng, Z.-R. (2021). Impacts of vegetation on particle concentrations in roadside environments. *Environmental Pollution*, 282, 117067. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117067>