

Pengaruh Kepadatan Kendaraan terhadap Kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kota Makassar

Abdur Rivai^{1*}, Andi Ruhban¹, Ricky Mahyudin²

^{1,2} Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Makassar

*Corresponding author: abdur60rivai@gmail.com

Info Artikel: Diterima ..bulan...20XX ; Disetujui ...bulan 20XX ; Publikasi ...bulan ..20XX *tidak perlu diisi

ABSTRACT

Vehicles are the main source of NO₂ emissions in urban areas. Vehicle density is the number of vehicles in a given area at a given time. The combustion of fossil fuels in vehicle engines produces various pollutants, including nitrogen dioxide, which is released into the atmosphere through exhausts. Exposure to high concentrations of NO₂ can cause health problems, especially respiratory issues, exacerbate asthma, increase the risk of respiratory infections, and contribute to the formation of tropospheric ozone.

This study aimed to determine the effect of vehicle density on Nitrogen Dioxide (NO₂) levels in Makassar City. The study measured NO₂ levels at one point during three different times of the day: morning, afternoon, and evening, at under Pas Simpang Lima Mandai, Makassar. The results were analyzed descriptively and presented in tabular form.

The results showed that Nitrogen Dioxide (NO₂) levels in the morning time period amounted to 0.24 µ/Nm³, afternoon amounted to 0.23 µ/Nm³ and afternoon amounted to 0.41 µ/Nm³. So that the average result of Nitrogen Dioxide (NO₂) levels is 0.29 µ/Nm³.

The study concluded that vehicle density does not affect NO₂ levels, which comply with Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 22 of 2021, regarding ambient air quality standards for NO₂, set at 200 µ/Nm³ for a 1-hour measurement time.

Keywords: Vehicle Density ; Nitrogen Dioxide (NO₂)

ABSTRAK

Kendaraan adalah sumber utama emisi NO₂ di daerah perkotaan. Kepadatan kendaraan adalah jumlah kendaraan yang berada di suatu area tertentu dalam kurun waktu tertentu. Pembakaran bahan bakar fosil di mesin kendaraan menghasilkan berbagai polutan, termasuk nitrogen dioksida, yang dilepaskan ke atmosfer melalui knalpot atau cerobong kendaraan. Paparan terhadap konsentrasi tinggi NO₂ dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, terutama pada sistem pernapasan, memperburuk kondisi asma, meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan, dan berkontribusi terhadap pembentukan ozon troposferik.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kepadatan kendaraan terhadap kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kota Makassar. Populasi penelitian ini yaitu kadar Nitrogen Dioksida (NO₂). Sampel dalam penelitian ini adalah 3 sampel, dengan 1 titik dan 3 waktu periode pengukuran yaitu pagi, siang dan sore hari, di under pas simpang lima mandai kota Makassar. Hasil penelitian pengukuran di lapangan dan hasil pemeriksaan di laboratorium yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) pada periode waktu pagi sebesar 0,24 µ/Nm³, siang sebesar 0,23 µ/Nm³ dan sore sebesar 0,41 µ/Nm³. Sehingga diperoleh hasil rata-rata kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) yaitu sebesar 0,29 µ/Nm³.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah tidak ada pengaruh kepadatan kendaraan terhadap kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) serta memenuhi syarat sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup terkait baku mutu udara ambien untuk kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan waktu pengukuran 1 jam yaitu 200 µ/Nm³.

Kata Kunci : Kepadatan Kendaraan ;Nitrogen Dioksida (NO₂)

PENDAHULUAN

Udara merupakan unsur vital bagi keberadaan manusia. Tanpa udara yang bersih dan tidak tercemar, manusia tidak dapat mempertahankan keberadaannya. Demikian pula, semua organisme lain tidak dapat bertahan hidup tanpa adanya udara. Oleh karena itu, sangat penting untuk menjaga kebersihan udara dan memastikan kualitasnya yang tinggi untuk memenuhi standar kesehatan semua organisme hidup, termasuk manusia. Peraturan, atau hukum positif, adalah salah satu metode yang digunakan untuk menjaga dan melestarikan kualitas udara. Tujuan dari peraturan lingkungan, khususnya tentang kualitas udara, adalah untuk mengatur perilaku manusia. Dengan kata lain, jika perilaku manusia terpuji, maka akan tercipta kualitas udara yang baik (Philipi Sembiring, 2019).

Polusi udara telah menjadi masalah kesehatan masyarakat yang terus-menerus. Banyak sumber potensial yang berkontribusi terhadap polusi udara. Sektor transportasi secara signifikan berkontribusi terhadap polusi udara dengan mengeluarkan polutan nitrogen oksida (NO_x). Reaksi antara NO dan oksigen akan meningkatkan konsentrasi nitrogen dioksida (NO_2). Zat gas berwarna merah keabu-abuan ini dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada mata dan paru-paru manusia (Dewapandhu & Pribadi, 2023).

Berdasarkan perkiraan, sumber-sumber transportasi di Indonesia menyumbang sekitar 70,50% polutan udara, dengan karbon monoksida (CO) menyumbang sebagian besar, yaitu 70,50%. Nitrogen oksida (NO_x) menyumbang 8,89% polutan, sulfur oksida (Sox) menyumbang 0,88%, hidrokarbon (HC) menyumbang 18,34%, dan debu atau partikel menyumbang 1,33% (Wardhana, 2001). Penyebab utama pencemaran lingkungan, terutama pencemaran udara, adalah tingginya konsentrasi kegiatan transportasi, khususnya kendaraan bermotor. Kendaraan-kendaraan ini sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil, yang secara signifikan berkontribusi terhadap emisi zat-zat berbahaya ke atmosfer, sehingga memperburuk kualitas udara dan menimbulkan risiko bagi kesehatan masyarakat (Akbar, 2023).

Nitrogen dioksida adalah kontaminan udara yang telah terbukti berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Nitrogen dioksida adalah konstituen polutan atmosfer yang dapat memengaruhi kesehatan manusia. Penelitian menunjukkan adanya hubungan antara paparan singkat terhadap nitrogen dioksida, yang berlangsung selama 30 menit hingga 24 jam, dengan konsekuensi pernapasan yang negatif. Hal ini termasuk peradangan saluran napas pada individu tanpa masalah pernapasan dan peningkatan gejala pernapasan pada mereka yang menderita asma. Nitrogen dioksida dapat mengiritasi paru-paru dan melemahkan kemampuan tubuh untuk melawan infeksi pernapasan, seperti influenza (Sulasmi et al., 2020).

Berdasarkan data World Health Organization (WHO) tahun 2016, jumlah kematian yang disebabkan oleh polusi udara di Indonesia mencapai 61 ribu jiwa, dengan rata-rata 25 kematian per 100 ribu jiwa. Kendaraan bermotor mengeluarkan polutan udara yang mengancam kesehatan masyarakat, antara lain Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Dioksida (NO_2), partikulat dengan partikel, dan hidrokarbon. Menurut WHO, sekitar 70% penduduk perkotaan di seluruh dunia telah terpapar udara tercemar yang disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor. Sebagai perbandingan, 10% sisanya menghirup udara dengan kualitas yang sedikit lebih rendah (Wenas et al., 2020).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Salsabillah dkk. (2024) menunjukkan bahwa kemacetan dan antrian panjang di ruas jalan diakibatkan oleh pergerakan transportasi dari berbagai arah, karakteristik lalu lintas, dan pengguna jalan. Dampak volume kendaraan terhadap kadar karbon monoksida (CO) di Jalan W.R Supratman, Kecamatan Klojen, Kota Malang sangat kecil, yaitu sebesar 0,6%. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor tidak berpengaruh terhadap kadar karbon monoksida (CO). Pengaruh volume kendaraan terhadap NO_x adalah sebesar 27%, yang menunjukkan pengaruh yang sedang terhadap kadar NO_x (Safara, 2020).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Darmawan Romi pada tahun 2018, hasil studi ARKL menunjukkan bahwa petugas pengumpul karcis tol dengan berat badan rata-rata 62 kg tidak boleh bekerja di Gerbang Tol Dupak 1 Surabaya apabila laju asupan udara sebesar 0,83 m³/jam. Hal ini berlaku untuk individu yang bekerja 8 jam sehari selama 350 hari per tahun selama 30 tahun jika nilai konsentrasi NO_2 maksimum melebihi 0,1183 ppm ($\text{RQ} > 1$). Prevalensi gejala kesehatan yang dirasakan responden adalah sebagai berikut: batuk (82,3%), mata merah (70,5%), rasa panas pada mata (64,7%), pusing (53%), dan sesak nafas (47%). Berdasarkan temuan di atas, dapat disimpulkan bahwa tingkat risiko yang terkait dengan paparan NO_2 bagi para partisipan adalah berbahaya. Untuk mengurangi risiko ini, mereka harus melakukan tindakan pencegahan seperti meningkatkan asupan vitamin C dan E dan menggunakan masker N95. Penegakan hukum yang ketat tentang penggunaan masker dan zona bebas asap rokok sangat penting (Darmawan et al., 2018).

Kota Makassar, yang terletak di Sulawesi Selatan, merupakan kota terbesar dalam hal luas wilayah dan jumlah penduduk. Dengan jumlah penduduk sebanyak 1.427.619 jiwa, kota ini termasuk dalam kategori kota metropolitan. Jumlah kendaraan bermotor di Makassar terus meningkat dari tahun ke tahun. Tahun 2019 terdapat 1.643.250 kendaraan, yang meningkat menjadi 1.690.457 pada tahun 2020 dan meningkat menjadi 1.740.793 pada tahun 2021. Hal ini menunjukkan tingkat pertumbuhan tahunan sekitar 6-7%. Oleh karena itu, diantisipasi akan ada pertumbuhan tahunan yang konsisten (Badan Pusat Statistik, 2022).

Menurut Ditlantas Polda Sulsel, jumlah kendaraan bermotor di Provinsi Sulawesi Selatan, Makassar, pada tahun 2024 adalah sebagai berikut: 337.599 mobil penumpang, 2.902 bus, 96.915 mobil besar, dan yang paling banyak adalah sepeda motor, yaitu 1.571.656. Jumlah total kendaraan bermotor yang dikategorikan

berdasarkan jenis kendaraan di Provinsi Sulawesi Selatan (Ditlantas Polda SulSel 2024). Data yang disajikan menunjukkan adanya peningkatan polusi udara dan peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang konsisten setiap tahunnya. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait *Pengaruh Kendaraan terhadap Kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kota Makassar*.

MATERI DAN METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif dengan melakukan pengukuran secara langsung di lapangan dan pemeriksaan di laboratorium. Populasi dalam penelitian ini adalah kadar Nitrogen Dioksida di Under Pas Simpang Lima Mandai Kota Makassar. Jumlah sampel dalam penelitian ini adalah 3 sampel, dengan 1 titik dan 3 waktu periode pengukuran yaitu pagi, siang dan sore hari. Hasil penelitian pengukuran di lapangan dan hasil pemeriksaan di laboratorium yang diperoleh pada saat penelitian, dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel. Serta disertai dengan uraian- uraian yang didasari pada dasar teori pendukung sekunder ini mempunyai sifat fisik dan kimia yang tidak stabil

HASIL

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Simpang 5 Underpass Mandai, Kelurahan Sudiang, Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar. Pengukuran atau pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali yaitu pada waktu pagi, siang dan sore hari. Pengukuran pertama dilakukan pada pukul 07.00 - 08.00, siang hari pada pukul 12.00 - 13.00, dan sore hari pada pukul 16.30 - 17.30. Hasil pengukuran selanjutnya dianalisis di Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar (Labkesmas 1). Hasil yang diperoleh yaitu :

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kualitas Udara Ambien (NO₂)

No	Waktu (WITA)	Hasil (µ/Nm ³)	Rata-Rata	Baku Mutu
1.	07.00 - 08.00 (Pagi)	0,24	0,29 µ/Nm ³	200 µ/Nm ³
2.	12.00-13.00 (Siang)	0,23		
3.	16.30-17.30 (Sore)	0,41		

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 1 Menunjukkan kadar nitrogen dioksida (NO₂) selama satu hari dengan periode waktu yang berbeda yaitu pagi, siang dan sore. Terlihat bahwa kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) pada periode waktu sore hari lebih tinggi di bandingkan dengan periode waktu pagi dan siang. Kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) pada periode waktu pagi sebesar 0,24 µ/Nm³, pada periode waktu siang hari 0,24 µ/Nm³, dan pada periode waktu sore sebesar 0,41 µ/Nm³. Sehingga diperoleh hasil rata-rata kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) di Simpang 5 Underpass Mandai sebesar 0,29 µ/Nm³.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Suhu Udara Ambien

No	Waktu (WITA)	Hasil Suhu (°C)	Rata-Rata
1.	07.00 - 08.00 (Pagi)	29	33,6°C
2.	12.00-13.00 (Siang)	42	
3.	16.30-17.30 (Sore)	29,8	

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 2 Menunjukkan suhu udara ambien selama satu hari dengan periode waktu yang berbeda yaitu pagi, siang dan sore. Terlihat bahwa suhu pada periode waktu siang hari lebih tinggi di bandingkan dengan periode waktu pagi dan sore hari. Suhu pada periode waktu pagi sebesar 29°C, pada periode waktu siang hari 42°C, dan pada periode waktu sore sebesar 29,8°C. Sehingga diperoleh hasil rata-rata kadar suhu udara ambien di Simpang 5 Underpass Mandai sebesar 33,6°C.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kelembaban Udara Ambien

No	Waktu (WITA)	Hasil Kelembaban (%)	Rata-Rata
1.	07.00 - 08.00 (Pagi)	75,1	62,7%
2.	12.00-13.00 (Siang)	41	
3.	16.30-17.30 (Sore)	72,1	

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 3 Menunjukkan kelembaban udara ambien selama satu hari dengan periode waktu yang berbeda yaitu pagi, siang dan sore. Terlihat bahwa kelembaban udara pada periode waktu pagi hari lebih tinggi di bandingkan dengan periode waktu siang dan sore hari. Kelembaban udara pada periode waktu pagi sebesar 75,1%,

pada periode waktu siang hari 41%, dan pada periode waktu sore sebesar 72,1%. Sehingga diperoleh hasil rata-rata kadar suhu udara ambien di Simpang 5 Underpass Mandai sebesar 62,7%.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin

No	Waktu (WITA)	Kecepatan Angin (Km/Jam)	Rata-Rata
1.	07.00 - 08.00 (Pagi)	1,5	3,46 Km/Jam
2.	12.00-13.00 (Siang)	4,6	
3.	16.30-17.30 (Sore)	4,3	

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 3 Menunjukkan kecepatan angin selama satu hari dengan periode waktu yang berbeda yaitu pagi, siang dan sore. Terlihat bahwa kecepatan angin pada periode waktu siang hari lebih tinggi di bandingkan dengan periode waktu siang dan sore hari. Kecepatan angin pada periode waktu pagi sebesar 1,5 Km/Jam, pada periode waktu siang hari 4,6 Km/Jam, dan pada periode waktu sore sebesar 4,3 Km/Jam. Sehingga diperoleh hasil rata-rata kadar suhu udara ambien di Simpang 5 Underpass Mandai sebesar 3,46 Km/Jam.

Tabel 5. Hasil Kepadatan Kendaraan

Lokasi	Jumlah Kendaraan			Rata-Rata
	Pagi	Siang	Sore	
Simpang 5 Underpass Mandai	8.749	7.400	10.180	8.776

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 5 Menunjukkan jumlah perhitungan jumlah kendaraan yang melintasi lokasi penelitian pada saat pengambilan sampel yaitu Simpang 5 Underpass Mandai selama 1 jam dengan periode pagi, siang dan sore hari. Diperoleh hasil yaitu pada pada periode pagi hari sebanyak 8.749, pada periode siang hari sebanyak 7.400 sedangkan pada periode sore hari 10.180 dengan rata rata kendaraan yang lewat di Simpang 5 Underpass Mandai sebanyak 8.776.

PEMBAHASAN

Nitrogen dioksida (NO_2) adalah gas beracun yang ditandai dengan warna coklat kemerahan dan secara signifikan mempengaruhi polusi udara. Nitrogen dioksida terbentuk dari interaksi nitrogen dan oksigen pada suhu tinggi dan umumnya ditemukan dalam proses pembakaran. Nitrogen dioksida (NO_2) adalah gas berbahaya yang berisiko bagi kesehatan manusia, khususnya dengan memicu penyakit pernapasan. Peningkatan kadar nitrogen dioksida (NO_2) dapat menyebabkan perkembangan penyakit paru-paru dan saluran pernapasan, serta infiltrasi aliran darah dan efek berbahaya berikutnya pada organ lain. Karena kelarutannya yang terbatas dalam air, NO_2 dapat dengan mudah melewati trakea dan bronkus untuk mencapai alveoli. Nitrogen dioksida (NO_2) mengalami hidrolisis dalam saluran pernapasan, menghasilkan asam nitrat (HNO_2). Asam nitrat sangat korosif terhadap selaput lendir yang ada di permukaan saluran napas. Bronkitis terjadi karena anomali sistem pernapasan, yang mengakibatkan penumpukan nitrogen dioksida, yang dikenal sebagai karsinogen. Nitrogen dioksida (NO_2) menginduksi peradangan pada saluran pernapasan, merusak fungsi paru-paru, dan memperburuk kondisi seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK).

penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kepadatan kendaraan terhadap kadar nitrogen dioksida (NO_2) di Simpang 5 Underpass Mandai, Kelurahan Sudiang, Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar. Proses pengukuran atau pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu pada pagi, siang, dan malam hari. Pengukuran awal dilakukan pada pukul 07.00-08.00 pagi, dilanjutkan dengan pengukuran kedua pada pukul 12.00-13.00 siang, dan pengukuran terakhir pada pukul 16.30-17.30 sore. Hasil pengukuran kemudian diperiksa di Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar (Labkesmas 1).

Pengambilan sampel kadar nitrogen dioksida (NO_2) dilakukan di waktu pagi, siang, dan sore hari untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang variasi konsentrasi NO_2 sepanjang hari. Berdasarkan aktivitas masyarakat maka dilakukan pengambilan sampel pada pagi hari, karena waktu tersebut merupakan jam sibuk (rush hour), biasanya terjadi peningkatan konsentrasi NO_2 akibat emisi dari kendaraan bermotor yang digunakan oleh masyarakat dalam memulai aktivitas seperti berangkat bekerja, sekolah dan lain-lain. Dilakukan pengambilan sampel pada siang hari karena aktivitas lalu lintas cenderung lebih stabil dibandingkan pagi hari, namun di beberapa lokasi konsentrasi NO_2 bisa meningkat karena aktivitas dan kegiatan lain yang berkontribusi meningkatnya kadar NO_2 . Serta dilakukan pengambilan sampel pada sore hari karena merupakan waktu atau jam pulang kerja, sehingga konsentrasi NO_2 bisa meningkat lagi karena peningkatan lalu lintas kendaraan bermotor.

Berdasarkan pengaruh kondisi meteorologi bahwa pada pagi hari, suhu udara biasanya lebih rendah, dan sering terjadi fenomena inversi suhu yang dapat menjebak polutan dekat dengan permukaan tanah, sehingga

meningkatkan konsentrasi NO_2 . Pada siang hari, suhu udara lebih tinggi dan sinar matahari lebih kuat, yang dapat meningkatkan reaksi fotokimia yang mengubah NO_2 menjadi ozon (O_3). Ini bisa menyebabkan penurunan sementara kadar NO_2 di atmosfer. Pada sore hari, kondisi atmosfer bisa berubah lagi. Angin dan perubahan suhu dapat mempengaruhi distribusi dan konsentrasi NO_2 .

Mengambil sampel pada berbagai waktu sepanjang hari membantu dalam mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang variasi konsentrasi NO_2 sepanjang hari, serta menilai risiko paparan NO_2 terhadap kesehatan manusia secara lebih akurat. Karena masyarakat mungkin saja terpapar polutan ini pada tingkat yang berbeda sepanjang hari, tergantung pada aktivitas mereka. Dengan melakukan pengambilan sampel NO_2 pada pagi, siang, dan sore hari, dapat memberikan gambaran variasi waktu terhadap konsentrasi NO_2 yang disebabkan oleh perubahan aktivitas manusia, kondisi meteorologi, dan proses kimia di atmosfer.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa kepadatan kendaraan lebih tinggi di waktu sore hari yaitu 10.180 dibandingkan dengan di waktu pagi yaitu 8.749 dan siang hari yaitu 7.400. Jumlah kepadatan kendaraan di waktu sore hari lebih padat dibandingkan di pagi dan siang hari disebabkan oleh beberapa faktor utama yang berkaitan dengan rutinitas harian masyarakat seperti jadwal pulang kerja dan sekolah, aktivitas sosial dan ekonomi, pergantian shift kerja, kondisi cuaca yang lebih nyaman, serta volume penumpang transportasi umum berkontribusi pada peningkatan jumlah kendaraan di jalan raya. Kepadatan kendaraan di sore hari lebih tinggi karena akumulasi aktivitas harian yang berakhir pada waktu yang hampir bersamaan.

Hasil pengukuran atau pengambilan sampel kadar nitrogen dioksida (NO_2) menunjukkan hasil sebagai berikut: 0,24 μNm^3 pada pagi hari, 0,24 μNm^3 pada siang hari, dan 0,41 μNm^3 pada sore hari. Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) rata-rata di Simpang 5 Underpass Mandai adalah 0,29 μNm^3 . Kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) yang diperoleh pada sore hari lebih tinggi dibandingkan dengan yang diukur pada pagi dan siang hari. Kadar NO_2 pada sore hari cenderung lebih tinggi karena kombinasi faktor-faktor seperti peningkatan aktivitas kendaraan bermotor, emisi industri yang berkelanjutan, penurunan reaksi fotokimia yang mengubah NO_2 menjadi ozon, kondisi meteorologi yang kurang mendukung dispersi polutan, serta pergerakan massa udara dan efek lingkungan perkotaan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gyo Hwang Choo dkk pada tahun 2023 bahwa aktivitas lalu lintas dan industri biasanya meningkat sepanjang hari dan mencapai puncaknya pada sore hari. Hal ini dikarenakan peningkatan jumlah kendaraan bermotor sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil sehingga menyebabkan emisi NO_2 yang lebih tinggi pada waktu sore hari. Sehingga penelitian ini sejalan atau mendukung penelitian yang dilakukan dengan pengambilan sampel sore hari (Choo et al., 2023).

Penelitian dalam jurnal Atmospheric Chemistry and Physics yang dilakukan oleh Hao Yin dkk pada tahun 2022 bahwa kadar nitrogen dioksida (NO_2) lebih tinggi pada sore hari dibandingkan pagi dan siang hari karena polutan cenderung terakumulasi di atmosfer. Pada pagi hari, suhu yang lebih rendah dan inversi termal bisa menjebak polutan di dekat permukaan tanah. Ketika suhu meningkat pada siang hari, lapisan batas atmosfer menjadi lebih tinggi, memungkinkan dispersi polutan. Namun, pada sore hari akumulasi emisi dari aktivitas sepanjang hari menyebabkan peningkatan konsentrasi NO_2 . Sehingga kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber utama emisi NO_2 , terutama dari kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil (Yin et al., 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Marco Ravina dkk pada tahun 2022 terkait Air quality and photochemical reactions: analysis of NO_x and NO_2 concentrations in the urban area of Turin, Italy sejalan dengan penelitian yang dilakukan bahwa reaksi fotokimia pada siang hari dimana sinar matahari yang kuat memfasilitasi reaksi fotokimia yang dapat mengubah NO_2 menjadi senyawa lain, seperti ozon (O_3). Namun, pada sore hari, intensitas sinar matahari berkurang sehingga mengurangi laju reaksi ini dan menyebabkan penumpukan kadar NO_2 di udara (Ravina et al., 2022).

Hasil pengukuran kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) pada pagi, siang, dan sore hari masih berada dalam baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Peraturan ini berkaitan dengan penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup baku mutu udara ambien untuk kadar Nitrogen Dioksida (NO_2), dengan durasi pengukuran selama 1 jam, ditetapkan secara eksplisit sebesar 200 μNm^3 . Meskipun hasil yang diperoleh masih lebih rendah dari standar yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 untuk Nitrogen Dioksida, yaitu 200 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, namun perlu diperhatikan dampak Nitrogen dioksida terhadap kesehatan manusia. Hal ini dikarenakan Nitrogen Dioksida dapat berdampak negatif pada sistem pernapasan dan menyebabkan keracunan. Perlu dicatat bahwa Nitrogen Dioksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.

Hasil yang terkumpul menunjukkan variasi yang signifikan. Hasil ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kepadatan kendaraan dan jenis bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar premium, misalnya, dapat menghasilkan NO_x dalam jumlah yang signifikan dan mengandung timbal (Pb), sebuah logam berat.

Di sisi lain, bahan bakar petalite menghasilkan jumlah NO_x yang relatif kecil dan bebas dari timbal (Pb). Bahan bakar Jenix, tepatnya yang pertama, mirip dengan perlit tetapi memiliki kemampuan yang lebih baik dan mencapai pembakaran yang lebih efisien, sehingga menghasilkan emisi gas buang yang minimal. Emisi NO_x dari kendaraan yang menggunakan bahan bakar premium dengan oktan 88 terukur sebesar 15,10%. Untuk bahan bakar

pertalite dengan oktan 90, emisi NO_x diperkirakan mencapai 14,9%. Terakhir, bahan bakar pertamax dengan oktan 92 menghasilkan emisi NO_x sebesar 14,53%.

Konsentrasi NO_2 di lingkungan perkotaan dipengaruhi oleh emisi langsung dari lalu lintas kendaraan, kondisi meteorologi dapat menghambat atau meningkatkan dispersi di atmosfer atau mengakibatkan peningkatan pembentukan polutan. Jumlah nitrogen dioksida di lokasi penelitian dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

Suhu dan Kelembaban

Beerdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa suhu pada periode waktu siang hari lebih tinggi di bandingkan dengan periode waktu pagi dan sore hari. Suhu pada periode waktu pagi sebesar 29°C , pada periode waktu siang hari 42°C , dan pada periode waktu sore sebesar $29,8^\circ\text{C}$. Sehingga diperoleh hasil rata-rata kadar suhu udara ambien di Simpang 5 Underpass Mandai sebesar $33,6^\circ\text{C}$.

kelembaban udara pada periode waktu pagi hari lebih tinggi di bandingkan dengan periode waktu siang dan sore hari. Kelembaban udara pada periode waktu pagi sebesar 75,1%, pada periode waktu siang hari 41%, dan pada periode waktu sore sebesar 72,1%. Sehingga diperoleh hasil rata-rata kadar suhu udara ambien di Simpang 5 Underpass Mandai sebesar 62,7%.

Kondisi cuaca tertentu dapat mempengaruhi konsentrasi polusi udara melalui perubahan suhu udara. Suhu yang tinggi mengkatalisasi produksi gas nitrogen dioksida (NO_2). Kemacetan di jalan menyebabkan mesin tidak bekerja, cepat panas, dan suhu tinggi. Nitrogen dioksida (NO_2) mengalami penguraian, menghasilkan nitrogen oksida (NO) dan oksigen (O_2).

Di daerah dengan tingkat polusi nitrogen dioksida (NO_2) yang tinggi, kelembapan udara yang rendah dapat membantu mengurangi polusi. Hal ini karena ketika udara lembab, polutan berbentuk partikel tertentu, seperti debu, dapat berikatan dengan air dan membentuk partikel yang lebih besar. Gravitasi membuat partikel-partikel yang lebih besar ini lebih mudah mengendap di permukaan bumi. Di tempat-tempat dengan kelembapan tinggi dan polusi nitrogen dioksida (NO_2), akan terjadi peningkatan kadar nitrogen dioksida (NO_2).

Secara teori, bahwa kenaikan suhu akan mempercepat laju reaksi bahan kimia tertentu. Sebaliknya, penurunan suhu akan menyebabkan perlambatan laju reaksi. Selain itu, mengurangi kelembapan udara di area yang tercemar akan mengurangi dampak korosif bahan kimia. Namun, pengukuran rata-rata menunjukkan bahwa suhu udara meningkat. Pada saat yang sama, konsentrasi nitrogen dioksida tetap relatif rendah, berbeda dengan hasil yang tinggi yang dicapai ketika suhu udara sangat rendah.

Kecepatan Angin

Kecepatan angin sangat mempengaruhi kadar nitrogen dioksida (NO_2) di udara karena kecepatan angin memainkan peran kritis dalam menentukan kadar NO_2 di udara melalui mekanisme penyebaran dan pengenceran polutan. Angin yang lebih kuat biasanya mengurangi konsentrasi NO_2 di dekat sumber emisi dengan menyebarkan ke area yang lebih luas dan bereaksi dengan udara bersih. Sebaliknya, angin yang lemah dapat menyebabkan akumulasi NO_2 , terutama di daerah dengan aktivitas emisi yang tinggi.

Angin yang lebih kuat dapat menyebarkan polutan seperti NO_2 secara horizontal dari sumber emisinya ke area yang lebih luas sehingga mengurangi konsentrasi NO_2 di lokasi tertentu dengan mendistribusikannya ke area yang lebih luas. Kecepatan angin juga membantu dalam pencampuran vertikal udara, membawa polutan ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi di mana dapat dipecah lebih cepat oleh proses kimia dan fisika. Kecepatan angin yang lebih tinggi dapat membawa volume udara yang lebih besar melewati sumber emisi sehingga mengencerkan konsentrasi NO_2 atau mengurangi konsentrasi polutan di udara di sekitar sumber emisi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mayra Guaman dkk pada tahun 2022 tentang Traffic Density and Air Pollution: Spatial and Seasonal Variations of Nitrogen Dioxide and Ozone bahwa kecepatan angin dapat mempengaruhi konsentrasi NO_2 dengan menghasilkan turbulensi (Guaman et al., 2022).

Kepadatan Kendaraan

Polusi udara yang diakibatkan oleh peningkatan kadar nitrogen dioksida (NO_2) tidak hanya ditentukan oleh suhu, kelembaban, kecepatan dan arah angin, tetapi juga oleh kepadatan kendaraan. Pada tahun 2015, Dinas Perhubungan Kota Makassar mencatat jumlah kendaraan di Makassar sebanyak 2,4 juta, yang terdiri dari 1,1 juta kendaraan roda dua dan 1,3 juta mobil. Setiap penggunaan lima liter bahan bakar minyak (BBM) dapat menghasilkan 1-1,5 kg karbon monoksida (CO). Oleh karena itu, jika satu kendaraan mengkonsumsi lima liter bensin, seratus kendaraan secara kolektif menghasilkan sekitar 100 kilogram karbon monoksida (CO).

Keberadaan gas Karbon Monoksida (CO) di atmosfer memiliki durasi yang relatif singkat, biasanya sekitar empat bulan. Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di atmosfer berbanding lurus dengan jumlah lalu lintas yang ada. Ketiadaan pepohonan di sepanjang jalan protokol juga berdampak pada polusi udara, karena pepohonan berperan penting dalam fotosintesis dan menyerap gas nitrogen dioksida. Pohon Glodokan (*Polyalthea longifolia*) dan Ketapang (*Terminalia catappa*) dapat mengurangi polusi udara.

Kepadatan kendaraan bermotor adalah faktor penentu yang sangat penting dari tingkat nitrogen dioksida (NO_2) di udara sekitar. Hal ini juga secara signifikan mempengaruhi elemen lain yang menyebabkan peningkatan emisi dari kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor adalah kontributor utama polutan NO_2 sehingga lokasi yang padat penduduk dengan lalu lintas yang padat menunjukkan tingkat polusi NO_2 yang tinggi. Ketika aktivitas kendaraan bermotor meningkat, konsentrasi polusi NO di udara juga meningkat.

Kepadatan kendaraan sangat berkaitan dengan jumlah kadar nitrogen dioksida (NO_2) di lingkungan. Karena kendaraan menggunakan bahan bakar fosil seperti bensin dan menggunakan mesin diesel sehingga menghasilkan NO_2 dari proses pembakaran. Kendaraan dengan mesin diesel cenderung menghasilkan lebih banyak NO_2 dibandingkan dengan mesin bensin karena suhu pembakaran yang lebih tinggi dan proses oksidasi nitrogen yang lebih banyak. Semakin banyak kendaraan yang beroperasi di jalan, semakin tinggi jumlah emisi NO_2 yang dihasilkan. Setiap kendaraan menyumbang emisi NO_2 berdasarkan jumlah bahan bakar yang dibakar.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mayra Guaman dkk pada tahun 2022 tentang Traffic Density and Air Pollution: Spatial and Seasonal Variations of Nitrogen Dioxide and Ozone bahwa konsentrasi NO_2 lebih tinggi di daerah dengan lalu lintas padat dibandingkan dengan daerah dengan lalu lintas rendah. Hasilnya menunjukkan bahwa kepadatan kendaraan berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan kadar NO_2 (Guaman et al., 2022).

Kontribusi lalu lintas di dekat jalan raya terhadap emisi NO_2 menunjukkan potensi risiko terhadap kesehatan masyarakat. Dengan demikian, individu yang menghabiskan waktu lama di dekat jalan raya utama, seperti pedagang kaki lima, lebih rentan terhadap penyakit akibat paparan NO_2 , seperti halnya penderita asma, anak-anak, dan orang dewasa yang lebih tua. Menurut WHO, kadar NO_2 dalam jarak sekitar 50 m dari lalu lintas padat mungkin 30–100% lebih tinggi dan paparan NO_2 jangka pendek mulai dari 30 menit hingga 24 jam dapat menyebabkan peningkatan gejala pernapasan dan peradangan saluran napas pada orang sehat (Guaman et al., 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Elaeis Noviani dkk bahwa konsentrasi NO_2 bervariasi berdasarkan jumlah kendaraan dan faktor meteorologis seperti suhu dan kecepatan angin. Konsentrasi NO_2 dengan kondisi lalu lintas yang padat cenderung lebih tinggi, meskipun tetap di bawah batas baku mutu yang ditetapkan. Penelitian ini memperkuat bukti bahwa peningkatan jumlah kendaraan bermotor secara langsung mempengaruhi kualitas udara di wilayah perkotaan (R et al., 2013).

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan analisis data terhadap Pengaruh Kepadatan Kendaraan terhadap Kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) di Kota Makassar dapat disimpulkan sebagai berikut : 1) Kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) pada pagi hari di simpang lima kota Makassar sebesar $0,24 \mu\text{Nm}^3$. 2) Kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) pada siang hari di simpang lima kota Makassar sebesar $0,23 \mu\text{Nm}^3$. 3) Kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) pada sore hari di simpang lima kota Makassar sebesar $0,41 \mu\text{Nm}^3$. 4) Kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) di simpang lima kota Makassar memenuhi syarat sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 yaitu sebesar $200 \mu\text{Nm}^3$. Bagi Masyarakat, penelitian ini dapat dijadikan rujukan dalam minimalisasi penggunaan kendaraan pribadi dan sebaiknya menggunakan transportasi umum, bersepeda, atau berjalan kaki. Bagi peneliti selanjutnya sebaiknya memperluas cakupan lokasi penelitian untuk mencakup lebih banyak area dengan variasi kepadatan lalu lintas, seperti daerah pedesaan, suburban, dan perkotaan. Serta mengkaji dampak kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) terhadap kesehatan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi Grisela Nurinda, Priyanto Sigit, & Malkamah Siti. (2019). Hubungan Volume Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Padjajaran (Ring Road Utara), Sleman. *Teknisia*, XXIV, 55–64.
- Akbar, R. Z. (2023). Analisis Tingkat Pencemaran Udara Kendaraan Bermotor di Area Parkir Selatan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(1), 25–33. <https://doi.org/10.33084/mitl.v8i1.4680>
- Alchamdani. (2019). NO_2 and SO_2 Exposure to Gas Station Workers Health Risk in Kendari City. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(4), 319–330. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i4.2019.319-330>
- Aly, S. H. (2015). *Emisi Transportasi* (1st ed.). Penebar Plus+.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Data Angkutan Darat Kota Makassar*.
- Budiman, & Suyono. (2019). *Buku Ajar Epidemiologi Kesehatan Lingkungan* (Wildan (ed.); 1st ed.). PT Refika Aditama.
- Cahyono, T. (2017). *Penyehatan Udara* (E. Risanto (ed.); 1st ed.). CV. Andi Offset.

- Choo, G. H., Lee, K., Hong, H., Jeong, U., Choi, W., & Janz, S. J. (2023). Highly resolved mapping of NO₂ vertical column densities from GeoTASO measurements over a megacity and industrial area during the KORUS-AQ campaign. *Atmospheric Measurement Techniques*, 16(3), 625–644. <https://doi.org/10.5194/amt-16-625-2023>
- Darmawan, R., Kesehatan, D., Fakultas, L., & Masyarakat, K. (2018). ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN KADAR NO₂ SERTA KELUHAN KESEHATAN PETUGAS PEMUNGUT KARCIS TOL Environmental Health Risk Assessment of NO₂ Ambient Level and Toll Collectors Officer'S Health Complaints. *Jurnal Kesehatan Lingkungan No.1*, 10(2), 116–125.
- Dewapandhu, B. A., & Pribadi, A. (2023). Analisis Penyebaran Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Jalan Raya Dramaga – Ciampea Kabupaten Bogor dengan Menggunakan Model Caline-4. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 8(1), 67–76. <https://doi.org/10.29244/jsil.8.1.67-76>
- Erlani, Rasjid, A., Ruhban, A., Syamsuddin, Hidayat, & Indraswari, N. L. A. (2023). *Buku Panduan Penulisan Skripsi Sarjana Terapan Sanitasi Lingkungan Tahun 2023 i*. Poltekkes Kemenkes Makassar Jurusan Kesehatan Lingkungan.
- Guaman, M., Roberts-Semple, D., Aime, C., Shin, J., & Akinremi, A. (2022). Traffic Density and Air Pollution: Spatial and Seasonal Variations of Nitrogen Dioxide and Ozone in Jamaica, New York. *Atmosphere*, 13(12), 2042. <https://doi.org/10.3390/atmos13122042>
- Haidah, N. (2021). *Metodologi Penelitian* (Syamsuddin (ed.)). Poltekkes Kemenkes Makassar.
- Izzati, C., Noerjoedianto, D., & Siregar, S. A. (2021). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Nitrogen Dioksida (NO₂) Pada Penyapu Jalan di Kota Jambi Tahun 2021. *Jurnal Kesmas Jambi*, 5(2), 45–54. <https://doi.org/10.22437/jkmj.v5i2.14032>
- Maherdyta, N. R., Syafitri, A., Septywantoro, F., Kejora, P. A., Gulo, S. D., & Sulistiyorini, D. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) pada Masyarakat di Wilayah Yogyakarta. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 2(1), 51–59. <https://doi.org/10.36086/jsl.v2i1.1040>
- Mallongi, A., Rauf, A. U., Astuti, R. D. P., & Ernyasih. (2023). *Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Polutan di Udara* (A. GP (ed.); 1st ed.). Goysen Publishing.
- Mukono. (2010). *Toksikologi Lingkungan* (2nd ed.). Air Langga University Press.
- Mulyadi, Suryadi, I., Sulasmi, & Ahmad, H. (2023). *Penyehatan Udara* (M. I. Alif (ed.); 1st ed.). PT. Nas Media Indonesia.
- Pamekas, R. (2018). *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Kawasan Permukiman*. PT. Dunia Pustaka Jaya.
- Philipi Sembiring. (2019). Penegakan Hukum Terhadap Udara Sebagai Upaya Pencegahan Pencemaran Akibat Kendaraan Bermotor Di Kota Yogyakarta. *Atma Jaya Yogyakarta*, 10. <https://www.google.com/amp/s/www.starjogja.co>
- Pinontoan, O. R., & Sumampouw, O. J. (2018). *Dasar Kesehatan Lingkungan* (1st ed.). Deepublish CV. Budi Utama.
- Prasetyanto, D. (2019). *Rekayasa Lalu Lintas dan Keselamatan Jalan* (1st ed.). Penerbit Itenas.
- Puspawati, C., Prabowo, K., & Pujiono. (2021). *Kesehatan Lingkungan Teori dan Aplikasi*. Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Putra, E. B. D., & Sudibyakto, H. A. (2017). Pengaruh Kepadatan Kendaraan Bermotor terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida Ambien (Studi Kasus Jalan Taman Siswa Yogyakarta). *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952, 137, 5–24. [http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB 2.pdf](http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB%202.pdf)
- R, E. N., Tobing, K. R. L., Ita Tetriana A, & Istirokhatun, T. (2013). Pengaruh Jumlah Kendaraan dan Faktor

- Meteorologis (Suhu, Kecepatan Angin) Terhadap Peningkatan Konsentrasi Gas Pencemar CO, NO₂, dan SO₂ Pada Persimpangan Jalan Kota Semarang (Studi Kasus Jalan Karangrejo Raya, Sukun Raya, dan Ngesrep Timur V). *DIPOIPTEKS: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Undip*, 1(1), 25–28. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/dipoipteks/article/view/5466>
- Ravina, M., Caramitti, G., Panepinto, D., & Zanetti, M. (2022). Air quality and photochemical reactions: analysis of NO_x and NO₂ concentrations in the urban area of Turin, Italy. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 15(3), 541–558. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01168-1>
- Rosyid, M. A. A., Hidayah, E. N., & Pulansari, F. (2021). Pengaruh Jenis Kendaraan Bermotor Terhadap Peningkatan Konsentrasi Nitrogen Dioksida (No₂) Di Sekitar Bundaran Dolog. *Jurnal Envirotek*, 13(1), 73–77. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i1.107>
- Ryadi, A. L. S. (2016). *Ilmu Kesehatan Masyarakat* (Y. Sincihu, Steven, & C. J. Dewi (eds.); 1st ed.). CV. Andi Offset.
- Safara, S. J. E. H. A. A. (2020). ANALISIS HUBUNGAN AKTIVITAS KENDARAAN BERMOTOR TERHADAP KONSENTRASI CO DAN NO_x UDARA AMBIEN DI JALAN W. R SUPRATMAN, Konsentrasi yang diukur dalam penelitian ini yaitu konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO_x). *Enviro, X*.
- Salman, Kandari, A. M., Aini, Supardan, A. D., Iqbal, I. P., Roddu, A. K., Karimuna, S. R., Rasyid, N. Q., Khambali, Ardiansyah, R. T., Rachmaniyah, Hermiyanti, P., & S, S. (2024). Kimia Lingkungan. In Basrudin & P. Wulan (Eds.), *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (1st ed.). CV.EUREKA MEDIA AKSARA. [http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB 2.pdf](http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB%202.pdf)
- Sambuaga, R. R. (n.d.). *Manajemen Penanggulangan Kemacetan Transportasi Publik Di Dinas Perhubungan Kota Manado*.
- Soedomo, M. (2001). *Kumpulan Karya Ilmiah mengenai Pencemaran Udara* (1st ed.). Penerbit ITB.
- Sulasmi, Hasanah, & Uswatun. (2020). Analisis Kadar CO₂ dan NO di Basement Trans Studio Makassar (Analysis Of CO₂ And NO Conditions In Basement Trans Studio Makassar). *Jurnal Sulolipu*, 20(2), 295–302.
- Suryadi, I., Mulyadi, Sulasmi, Rachmawati, S., & Fitriani, N. (2024). *Pencemaran Udara : Monitoring dan Pengendalian* (N. H. Miftakul (ed.); 1st ed.). Oase Pustaka.
- Syamsuddin, Inayah, & Askar, M. (2021). The Effect of Vehicle Density on Nitrogen Dioxide (NO₂) Conditions in Makassar Indonesia. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 15(3), 4325–4331. <https://doi.org/10.37506/ijfmt.v15i3.15971>
- Wardhana. (2001). *Dampak Pencemaran Lingkungan* (C. A. Offset (ed.)).
- Wardhana, W. A. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan* (4th ed.). CV. Andi Offset.
- Wenas, R. A., Pinontoan, O. R., Sumampouw, O. J., Studi, P., Kesehatan, I., Universitas, P., & Ratulangi, S. (2020). *Journal of*. 1, 1–7.
- Yin, H., Sun, Y., Notholt, J., Palm, M., & Liu, C. (2022). Spaceborne tropospheric nitrogen dioxide (NO₂) observations from 2005–2020 over the Yangtze River Delta (YRD), China: variabilities, implications, and drivers. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(6), 4167–4185. <https://doi.org/10.5194/acp-22-4167-2022>