

Konsentrasi NO₂ pada Dapur Tradisional Rumah Makan Minangkabau

Ashifa Adetya¹, Driejana^{2*}, dan Adyati Pradini Yudison²

¹Program Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia,

²Kelompok Keahlian Pengelolaan Udara dan Limbah, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia; email: driejana@itb.ac.id

ABSTRAK

Praktik memasak tradisional Minangkabau sangat bergantung pada kayu bakar sebagai bahan bakar utama. Praktik ini mempertahankan rasa otentik masakan, tetapi memasak di ruang tertutup menyebabkan polusi udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji variasi konsentrasi NO₂ dalam ruangan yang dihasilkan dari aktivitas memasak dengan kayu bakar di dapur restoran tradisional Minangkabau, serta mengevaluasi pengaruh tata letak ruangan dan ventilasi terhadap distribusi polutan. Tujuh titik pemantauan dipilih berdasarkan tata letak ruangan, intensitas kegiatan memasak, dan akses ventilasi di dapur restoran Minangkabau di Padang Panjang, Sumatera Barat. Tabung difusi tipe Palmes mengukur konsentrasi NO₂ mingguan selama 6 minggu. Sampel dianalisis menggunakan metode *Griess-Saltzman*, menghasilkan konsentrasi NO₂ rata-rata 288 µg/m³. Dengan pola aktivitas harian yang relatif konsisten sepanjang tahun, konsentrasi rata-rata NO₂ jauh di atas ambang batas Standar Kualitas Udara Dalam Ruangan yang ditetapkan oleh Permenkes No.2/2023, mengindikasikan potensi dampak kesehatan jangka panjang. Konsentrasi NO₂ di tujuh titik pengukuran bervariasi. Konsentrasi tertinggi terukur pada titik terdekat dengan tungku memasak, yang memiliki ventilasi terbatas. Konsentrasi NO₂ di dapur tetap ada bahkan ketika tidak memasak, menunjukkan bahwa polutan dapat bertahan karena sirkulasi udara yang buruk selama memasak. Temuan ini menunjukkan pentingnya meningkatkan sirkulasi udara, ventilasi, dan sistem ekstraksi asap di dapur tradisional untuk mengurangi akumulasi polutan udara dalam ruangan tanpa mengubah praktik memasak yang merupakan bagian dari budaya lokal. Upaya ini dapat mendukung pengelolaan kualitas udara dalam ruangan dan berkontribusi dalam pencapaian Target SDG 3.9, yang bertujuan untuk mengurangi dampak kesehatan dari polusi udara.

Kata kunci: pencemaran udara dalam ruangan, *passive sampler*, emisi memasak, SDG, tradisi Indonesia

ABSTRACT

Minangkabau traditional cooking practices rely heavily on firewood as the main fuel. The practice preserves the cuisine's authentic taste but cooking in an enclosed space causes air pollution. This study aims to examine indoor NO₂ concentrations variations resulting from cooking activities in the traditional Minangkabau restaurant's kitchen and to evaluate the influence of room layout and ventilation on pollutant distribution. Seven monitoring points were selected based on the room layout, the cooking activities intensity, and ventilation access in a Minangkabau restaurant kitchen in Padang Panjang, West Sumatra. Palmes-type diffusion tube measured the weekly NO₂ concentration for 6 weeks. Samples were analyzed using the *Griess-Saltzman* method, yielding an average NO₂ concentration of 288 µg/m³. With relatively consistent daily cooking activity patterns throughout the year, the average NO₂ concentration is well above the Indoor Air Quality Standards threshold set by Minister of Health Regulation No.2/2023, indicating potential long-term health impacts. The NO₂ concentration varies across the kitchen, the highest concentration found at the point closest to the cooking furnace, which has limited ventilation. The kitchen's NO₂ concentration persists even when cooking ceases, indicating that pollutants accumulate due to poor air circulation during cooking. These findings demonstrate the importance of improving air circulation, ventilation, and smoke-extraction systems in traditional kitchens to reduce the accumulation of indoor air pollutants, without altering cooking practices that are part of local culture. These efforts can support indoor air quality management and contribute to achieving SDG Target 3.9, which aims to reduce the health impacts of air pollution.

Keywords: indoor air pollution, passive sampler, cooking emission, SDG, Indonesian tradition

Citation: Adetya, A., Driejana, dan Yudison, A. P. (2026). Konsentrasi NO₂ pada Dapur Tradisional Rumah Makan Minangkabau. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(2), 422-431, doi:10.14710/jil.24.2.422-431

1. PENDAHULUAN

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goal/SDG*) mencanangkan untuk memastikan hidup sehat di segala usia. Hal ini secara spesifik dinyatakan pada bagian 3.9 yang menargetkan turunnya angka kematian dan kesakitan akibat polusi udara di dalam ruang maupun di udara ambien.

Salah satu sumber pencemaran udara dalam ruang adalah kegiatan memasak. Memasak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari budaya Minangkabau, dan telah diwariskan secara turun-temurun dari generasi ke generasi. Salah satu ciri khasnya adalah penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakar utama dalam proses memasak. Praktik ini tidak hanya dilakukan di rumah tangga, tetapi juga di rumah makan tradisional Minangkabau, yang lebih dikenal dengan sebutan rumah makan Padang.

Penggunaan tungku kayu dianggap sebagai bagian penting dari teknik memasak tradisional, karena diyakini mampu mempertahankan cita rasa asli masakan, terutama untuk jenis masakan yang membutuhkan waktu masak lama seperti rendang. Rumah makan Minangkabau secara umum masih mempertahankan metode ini, baik karena alasan rasa, efisiensi biaya, maupun karena sudah menjadi praktik yang melekat secara budaya.

Namun, praktik memasak dengan kayu bakar di ruang tertutup seperti dapur rumah makan juga menimbulkan persoalan kualitas udara di dalam ruangan. Dalam semua proses pembakaran, terbentuk oksida-oksida nitrogen (NO_x) dari reaksi antara nitrogen dan oksigen. Produk utama dari pembakaran ini adalah nitrogen monoksida (NO), di mana sebagian dari NO ini bereaksi lebih lanjut dengan oksigen membentuk nitrogen dioksida (NO_2). Reaksi ini bersifat eksotermik, sehingga pendinginan gas buangan pembakaran mendorong pembentukan NO_2 sekunder (Bernstein dkk., 2008; Dickerson dkk., 2023; Khwaja dkk., 2023; Syed dkk., 2023). Nitrogen dioksida merupakan polutan udara yang dapat berbahaya bagi kesehatan sehingga ambang batasnya di lingkungan udara diregulasi baik pada udara ambien pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 maupun pada kualitas udara dalam ruang melalui Peraturan Menteri Kesehatan No 2 Tahun 2023.

Nitrogen dioksida (NO_2) dipilih sebagai parameter utama dalam penelitian ini karena merupakan salah satu penanda polutan gas utama yang dihasilkan dari proses pembakaran dan memiliki dampak kesehatan yang signifikan terhadap sistem pernapasan. Gas ini merupakan produk yang selalu dihasilkan dari proses pembakaran, termasuk proses pembakaran bahan bakar biomassa seperti kayu dan arang. Gas NO_2 menjadi indikator kualitas udara dalam ruang karena dapat menggambarkan keberadaan emisi hasil pembakaran serta kondisi ventilasi ruangan. Tingkat konsentrasi NO_2 di dalam bangunan ini dipengaruhi oleh dinamika pertukaran udara antara lingkungan

dalam dan luar ruangan (Bernstein dkk., 2008; Villanueva dkk., 2022).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sumber polusi dari aktivitas dalam ruangan terutama memasak bisa berkontribusi besar terhadap pencemaran udara di dalam ruangan. Konsentrasi NO_2 dari aktivitas memasak bisa meningkat cukup tajam, terutama saat intensitas pembakaran tinggi dan durasi memasak berlangsung lama (Hu & Zhao, 2022).

Tingginya kadar NO_2 di dalam ruangan dipengaruhi oleh keadaan ventilasi yang buruk dan ukuran ruangan yang kecil, selain itu penggunaan kompor atau peralatan pembakaran dalam durasi yang lama juga berkontribusi besar dan kadarnya dapat melebihi konsentrasi di luar ruangan (Bacaloni dkk., 2011; Jarvis, dkk., 2010; Villanueva dkk., 2022). Bagi pekerja dapur yang menghabiskan waktu berjam-jam di dalam ruangan setiap harinya, paparan ini bukan hal yang bisa diabaikan begitu saja. Dalam jangka panjang, NO_2 dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan seperti iritasi saluran pernapasan, bronkokonstriksi, hingga peningkatan risiko infeksi (Dimitroulopoulou dkk., 2023).

Namun, sebagian besar penelitian terdahulu dilakukan pada rumah tangga atau dapur komersial secara umum. Kajian mengenai konsentrasi NO_2 pada dapur tradisional rumah makan Minangkabau masih belum banyak dilaporkan, padahal praktik memasak tradisional ini masih mempertahankan penggunaan kayu bakar sebagai bagian dari warisan kuliner dan identitas budaya masyarakat Minangkabau. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji konsentrasi NO_2 pada dapur tradisional rumah makan Minangkabau sebagai representasi aktivitas memasak berbasis biomassa yang masih bertahan di tengah modernisasi sektor kuliner.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis variasi konsentrasi NO_2 di dalam dapur tradisional rumah makan Minangkabau, dengan pengukuran pada 7 titik pemantauan yang mewakili kondisi tata ruang area dapur serta mengevaluasi pengaruh karakteristik lokasi pengukuran terhadap distribusi konsentrasi NO_2 di dalam ruangan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa memberi gambaran yang lebih utuh tentang kualitas udara dalam dapur tradisional, dan menjadi dasar pertimbangan teknis maupun sosial dalam upaya perbaikan kondisi kerja, tanpa harus mengorbankan nilai-nilai budaya yang melekat pada proses memasak tradisional itu sendiri.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian dan Pengumpulan Data

Penelitian ini dilaksanakan pada sebuah dapur tradisional rumah makan Minangkabau yang berlokasi di Kota Padang Panjang, Sumatera Barat. Rumah makan ini telah beroperasi sejak tahun 1960 dan secara konsisten mempertahankan metode memasak tradisional hingga saat ini. Dapur terletak di kawasan permukiman dengan jarak sekitar 100 meter

dari jalan utama (**Gambar 1**), dan secara geografis berada pada koordinat $0^{\circ}27'57.76''\text{S}$ dan $100^{\circ}23'51.11''\text{E}$. Bangunan dapur terpisah dari ruang makan utama dan dilengkapi dengan sistem ventilasi pasif, yang terdiri atas dua jendela, tiga pintu, bukaan pada atap, serta ventilasi permanen berupa kawat jaring pada salah satu sisi dinding. Kombinasi elemen tersebut memungkinkan terjadinya pertukaran udara alami antara ruang dalam dan lingkungan luar.

Pengumpulan data dilakukan selama enam minggu, yaitu pada Januari hingga Maret 2025, dengan durasi pemantauan satu minggu untuk setiap periode. Pemantauan dilakukan dengan metode pasif menggunakan *passive sampler* tipe *Palmer tube* yang memungkinkan pengukuran konsentrasi NO_2 jangka panjang di dalam dan luar ruangan secara senyap, efisien dan hemat biaya (Alves dkk., 2024; Hastuti dkk., 2011).

Passive sampler membutuhkan beberapa tahapan sebelum dapat dipajankan di lapangan, yang terdiri dari preparasi sampel, impregnasi, penyimpanan, dan pemasangan. Tabung (*tube*) yang berbahan akrilik berdimensi panjang 71 mm dan diameter internal 11 mm. Pada bagian atas dan bawah tube tabung digunakan tutup berbahan *polyethylene*. Bagian atas sampler berfungsi sebagai media absorbansi yang dibentuk dari pencampuran 3,95 g NaI dan 0,44 g NaOH dengan 50 mL metanol lalu ditetaskan 50 μL menggunakan *micropipette* di ruang bersih (Adon dkk., 2010; Ayers dkk., 1998).

Pengukuran pajanan NO_2 di dalam ruangan dilakukan pada tujuh titik pengukuran yang mewakili area dengan karakteristik berbeda berdasarkan kedekatan terhadap tungku pembakaran, aktivitas pekerja, dan akses ventilasi. Konsentrasi rata-rata mingguan diperoleh selama 6 minggu. Untuk membandingkan konsentrasi NO_2 pada kondisi terdapat dan tidak terdapatnya aktivitas memasak,

dilakukan pengukuran saat tidak ada kegiatan memasak selama 2 hari libur nasional.

Sampler dipasang secara duplikat pada ketinggian ± 2 m dari lantai dan dipajankan selama tujuh hari pada setiap periode pemantauan. Sebanyak 8 blanko lapangan dan 5 blanko laboratorium digunakan untuk pengendalian mutu. Setelah pengambilan sampel, seluruh sampler disimpan pada suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$ sesuai SNI 7119-17:2023 hingga dilakukan analisis laboratorium. Data meteorologi berupa temperatur dan kelembapan relatif dicatat setiap hari pada waktu yang sama menggunakan thermo-hygrometer digital dan dilengkapi dengan data NASA POWER sebagai data pendukung.

2.2. Analisis Konsentrasi NO_2

Pengukuran NO_2 menggunakan metode *Griess Saltzman*. Pengukuran ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 7119-2 (2017). Prinsip kerja pada pengukuran ini adalah menyerap gas NO_2 di udara ke dalam larutan *Griess Saltzman* sehingga dapat membentuk senyawa *azo dye* berwarna merah muda. Intensitas warna yang terbentuk berbanding lurus dengan jumlah NO_2 yang terserap, sehingga konsentrasi dapat dihitung secara kuantitatif melalui pengukuran absorbansi. Pengukuran ini membutuhkan natrium nitrit (NaNO_2) dan larutan penjerap *Griess Saltzman* yang terdiri dari asam sulfanilat anhidrat ($\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$), asam asetat glasial, aquades, dan larutan induk N-(1-naftil)-etilendiamin dihidroklorida (NEDA, $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$). Selain itu, larutan standar nitrit (NO_2^-) juga dibutuhkan. Data konsentrasi NO_2 dianalisis secara deskriptif menggunakan Microsoft Excel dan Minitab. Analisis meliputi perhitungan nilai minimum, maksimum, median, dan rata-rata, sedangkan variasi data antar titik pengukuran dan periode pemantauan divisualisasikan menggunakan boxplot.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Google Earth, 2025

Konsentrasi pencemar pada *passive sampler* (Handika & Driejana, 2013) didapatkan melalui persamaan (1) berikut:

$$C = \frac{Q \times L}{A \times t \times D} \quad (1)$$

Dengan:

- C = Konsentrasi yang terukur oleh *passive sampler* (µg/m³)
- Q = Kuantitas produk absorbansi yang terkandung dalam *sampler* (µg)
- L = Panjang *tube* (m)
- t = Lama waktu paparan (s)
- A = Luas penampang *tube* (m²)
- D = Koefisien difusi (m²/s)

Konsentrasi NO₂ terukur (Q) dihitung berdasarkan persamaan regresi pada kurva kalibrasi. Menurut SNI 7119-17:2023, kurva kalibrasi merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi larutan standar dengan nilai absorbansi dalam suatu garis lurus. Larutan induk dibentuk dari pengenceran 0,246 g NaNO₂ dengan 100 ml *aquadest* menjadi 1 ml larutan induk nitrit (NO₂⁻). Larutan ini kemudian diencerkan kembali dengan 100 ml *aquadest* untuk membentuk larutan standar. Variasi larutan standar yang digunakan dalam pembuatan kurva kalibrasi adalah 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 ml. Setiap 1 ml larutan standar tersebut terdapat 20 µg/ml NO₂. Pengukuran absorbansi larutan dilakukan pada panjang gelombang 550 nm dengan spektrofotometer. Nilai konsentrasi dinyatakan dalam persamaan (2) kurva kalibrasi berikut:

$$y = ax + b \quad (2)$$

Dengan:

- y = Nilai absorbansi
- x = Konsentrasi NO₂ dalam larutan standar (µg)

Nilai Q didapatkan secara langsung dari hasil perhitungan dengan kurva kalibrasi menggunakan persamaan (3) berikut:

$$Q = \frac{y-b}{a} \quad (3)$$

Dengan:

- Q = Kuantitas produk absorbansi yang terkandung dalam *sampler* (µg)

Nilai koefisien difusi terkoreksi (m²/det) didapatkan melalui persamaan (4) berikut:

$$D = D_{std} \times \left(\frac{T}{294 K} \right)^{1,5} \times \frac{P_{std}}{P} \quad (4)$$

Dengan:

- D = Nilai koefisien difusi terkoreksi (m²/s)
- D_{std} = Nilai D standar bergantung pencemar (untuk NO₂ yaitu 0,000154 m²/det pada suhu standar 21,1°C atau 294 K dan tekanan 760 mmHg atau 1 atm) (Cape, 2009)
- P_{std} = Tekanan standar (tekanan 760 mmHg)

P = Tekanan aktual (mmHg)

T = Temperatur aktual (K)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas Sampel

Pengukuran konsentrasi NO₂ dilakukan melalui metode Griess-Saltzman yang dianalisis dengan *UV-visible spectrophotometry*. Kurva kalibrasi yang dihasilkan selama analisis laboratorium menghasilkan persamaan regresi $y = 0,0342x + 0,0004$, dengan koefisien korelasi (r) sebesar 1,000, yang menunjukkan hubungan linier yang sangat baik antara absorbansi dan konsentrasi NO₂, dan mengkonfirmasi keandalan kurva untuk digunakan dalam proses perhitungan konsentrasi NO₂ (Montgomery & Runger, 1994).

Pengendalian kualitas sampler dilakukan menggunakan blanko laboratorium dan blanko lapangan. Blanko laboratorium secara konstan melaporkan konsentrasi pada nilai 0 µg/m³, menandakan bahwa tidak terdapat kontaminasi selama proses persiapan, penyimpanan, bahkan analisis sampel. Sedangkan, blanko lapangan menunjukkan konsentrasi NO₂ dalam rentang 0 - 4 µg/m³. Ditemukannya konsentrasi rendah pada beberapa *blanko* lapangan mengindikasikan kemungkinan kontaminasi ringan selama proses pengangkutan atau saat pemajanan, yang kemungkinan disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan atau penanganan sampel jarak jauh. Meskipun demikian, nilai-nilai ini masih berada dalam batas yang dapat diterima dan digunakan untuk melakukan koreksi terhadap hasil akhir pengukuran konsentrasi.

Tingkat presisi pengukuran dievaluasi menggunakan *Relative Standard Deviation* (RSD) dari pasangan duplikat sampel. Nilai RSD berada dalam rentang 1,97%–3,93% yang menghasilkan presisi pengukuran antara 96,07% - 98,03%, mencerminkan tingkat kesesuaian hasil pengukuran yang sangat tinggi antar pasangan sampel. Nilai RSD pada penelitian ini secara signifikan berada jauh di bawah batas toleransi maksimum RSD sebesar 25% untuk penggunaan *passive sampler* di lapangan menurut *US National Institute of Safety and Health* (NIOSH) (Bianju dkk., 2012; Seethapathy dkk., 2008). Nilai ini menunjukkan bahwa variasi antar pengukuran sangat kecil, sehingga kemungkinan kesalahan acak dalam proses pengambilan atau analisis sampel dapat dikatakan minimal.

3.2. Konsentrasi NO₂

Hasil pengukuran konsentrasi rata-rata mingguan berada dalam rentang 223 µg/m³ hingga 327 µg/m³, dengan rerata 288 µg/m³ (lihat **Gambar 2**). Meskipun menunjukkan pola fluktuatif, hasil pengukuran NO₂ selama periode pemantauan di dapur tradisional rumah makan Minangkabau ini secara rerata mencerminkan konsentrasi NO₂ yang konsisten relatif tinggi di dalam dapur rumah makan.

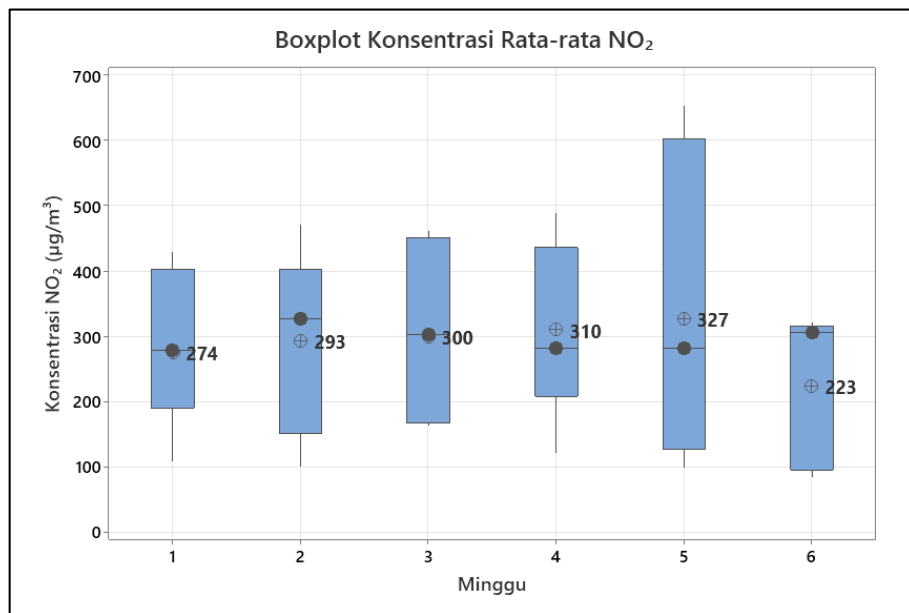
Konsentrasi tertinggi tercatat pada minggu ke-5, sementara nilai terendah tercatat pada minggu ke-6. Penurunan tajam pada minggu ke-6 ini disebabkan oleh libur operasional rumah makan yang secara langsung berkorelasi dengan tidak adanya aktivitas memasak di dua hari terakhir dari pemantauan mingguan. Hal ini menegaskan bahwa emisi NO_2 di dapur ini sangat dipengaruhi oleh keberlangsungan aktivitas memasak. Rentang konsentrasi yang masih relatif tinggi pada minggu ke-6 ini dapat diduga disebabkan oleh emisi akumulatif karena belum memadainya sirkulasi udara pada 5 hari pemantauan, meskipun pada 2 hari sisa dari pemantauan tidak ada kegiatan memasak (diskusi berikutnya mengenai hasil Tabel 1 akan menjelaskan hal ini dengan lebih rinci).

Pengukuran di dapur terkategori sebagai pengukuran kualitas udara dalam ruang yang ambang batasnya ditetapkan di dalam Pedoman Penyelenggaraan Kesehatan Lingkungan pada Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) untuk Media Udara Dalam Ruang (MUDR) berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. SBMKL Media Udara

untuk NO_2 adalah $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata harian dan $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk rata-rata tahunan.

Kegiatan memasak pada dapur rumah makan ini terjadi setiap hari secara terus menerus dan dapat diasumsikan menghasilkan intensitas emisi yang relatif tetap. Dengan asumsi intensitas kegiatan yang serupa dari hari ke hari, akumulasi hasil pengukuran metode pasif dengan durasi sampling seminggu sekali ini lebih mendekati untuk dibandingkan dengan baku mutu tahunan. Berdasarkan SBMKL untuk MUDR $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, konsentrasi rata-rata di dapur rumah makan tradisional Minangkabau telah melampaui ambang batas lebih dari 5 kali lipat, bahkan seandainya kegiatan memasak dikurangi pada akhir pekan, berdasarkan hasil pengukuran minggu ke-6 yang hanya berlangsung selama 5 hari kerja.

Tabel 1 menunjukan selama dua hari tanpa aktivitas memasak, konsentrasi NO_2 menurun drastis dengan konsentrasi NO_2 berkisar antara (0 – 8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Titik A adalah lokasi yang paling dekat dengan tungku dan minim ventilasi. Tetap terdeteksinya NO_2 pada kondisi ketiadaan emisi baru karena absennya kegiatan memasak selama dua hari menunjukkan adanya residu NO_2 yang bertahan di lingkungan ruangan dapur, namun sudah sangat jauh berkurang.



Gambar 2. Konsentrasi NO_2 di dalam dapur

Tabel 1. Hasil Pemantauan Konsentrasi NO_2 pada Minggu ke-6

Lokasi	Konsentrasi NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Pemantauan 7 Hari	Pemantauan 2 Hari Tanpa Kegiatan Memasak
Titik sampling A	306	8
Titik sampling B	309	2
Titik sampling C	95	6
Titik sampling D	316	4
Titik sampling E	322	6
Titik sampling F	127	0
Titik sampling G	83	1

Keterangan: Pengukuran dilakukan menggunakan passive sampler selama 7 hari penuh pada minggu ke-6 (kolom ke-2). Untuk mengisolasi pengaruh aktivitas memasak terhadap konsentrasi NO_2 , penulis melakukan pemantauan tambahan dengan durasi dua hari saat tidak terdapat kegiatan memasak menggunakan sampler terpisah dan metode yang sama.

Sistem ventilasi dapur hanya mengandalkan aliran pasif, namun berhentinya kegiatan memasak telah menurunkan konsentrasi di tiap titik pengamatan hingga $\pm 98\%$, sehingga menjadi jauh di bawah ambang batas MUDR. Hal ini menunjukkan ketika tidak ada emisi baru di hari berikutnya, ventilasi pasif berfungsi dengan cukup baik. Namun, dengan tidak adanya jeda kegiatan memasak karena rumah makan tersebut umumnya beroperasi selama 7 hari dalam seminggu, maka ketiadaan sistem ventilasi aktif memperpanjang waktu tinggal (*residence time*) polutan di dalam ruangan. Gas hasil pembakaran seperti NO₂ dapat bertahan lebih lama dalam ruang tertutup dengan ventilasi terbatas, terutama ketika difusi udara hanya terjadi secara alami tanpa dukungan sirkulasi mekanis (Kamilia dkk., 2023; Yang dkk., 2004).

Temperatur rata-rata selama periode pengamatan berkisar pada 25,15°C–29,1°C, dengan kelembapan relatif mencapai 62%–80,5%. Kedua parameter ini turut memperlambat proses pengenceran polutan. Secara teoritis, kelembapan udara dapat memengaruhi konsentrasi NO₂ melalui mekanisme fisik. Kelembapan yang tinggi menggambarkan kondisi udara dengan kandungan uap air yang tinggi, yang dapat memperlambat aliran udara baik secara horizontal maupun vertikal, sehingga menyebabkan akumulasi polutan seperti NO₂ (Kamilia dkk., 2023).

Bangunan dapur tradisional pada penelitian ini memiliki desain yang serupa dengan rumah tinggal, yaitu terdiri dari beberapa ruangan tertutup dengan ventilasi pada beberapa sisi ruangan dan digunakan setiap hari.

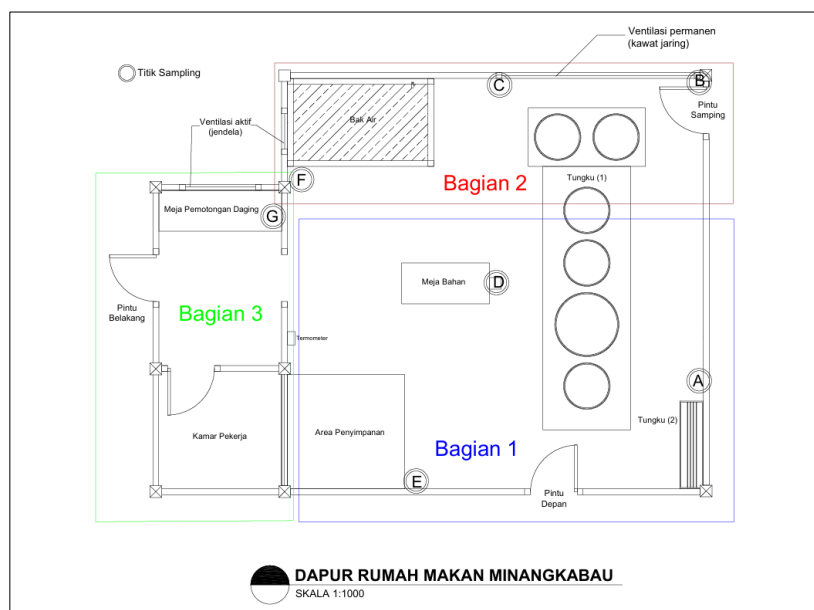
Resiko akibat pajanan dapat terjadi pada pekerja yang rata-rata menghabiskan waktu sekitar 12 jam per hari di bangunan dapur setiap hari. Durasi ini setara dengan waktu rata-rata penghuni rumah

tinggal berada di dalam rumah. Sebagai pembanding, hasil studi Yudison & Driejana (2015) di wilayah Bandung mencatat bahwa rata-rata konsentrasi NO₂ dalam rumah tinggal mencapai 35,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai ini relevan untuk dijadikan referensi pembanding dalam konteks penelitian ini, mengingat kondisi kelembapan udara 74,5% pada lokasi studi Yudison dan Driejana (2015) berada dalam rentang yang sebanding dengan kelembapan udara pada lokasi studi ini (71%). Perbandingan ini menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi NO₂ yang sangat signifikan, dengan selisih rata-rata mencapai 252 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Temuan ini mengindikasikan bahwa tingkat pencemaran udara di dalam dapur rumah makan tradisional berada pada level yang jauh lebih tinggi dibandingkan rumah tinggal biasa. Konsentrasi yang tinggi tersebut berpotensi menimbulkan risiko kesehatan yang serius bagi pekerja, terutama yang terpapar dalam jangka panjang.

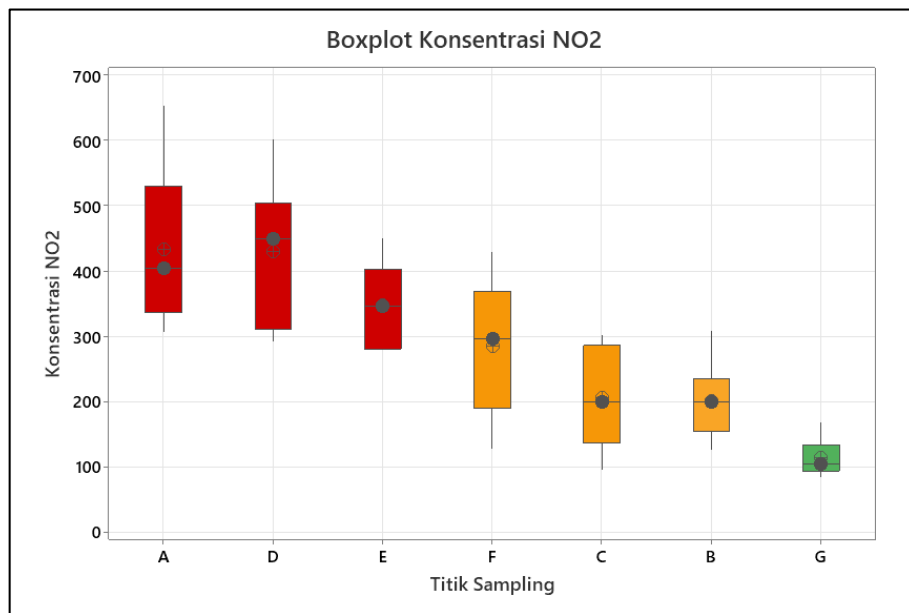
3.3. Distribusi Konsentrasi NO₂

Distribusi konsentrasi NO₂ di dalam dapur menunjukkan variasi spasial yang dipengaruhi oleh kedekatan terhadap sumber emisi serta efektivitas ventilasi alami. Untuk menganalisis hal tersebut, dapur dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan karakteristik ruang dan posisi relatif terhadap tungku pembakaran dan bukaan ventilasi, sebagaimana terlihat pada **Gambar 3**.

Bagian 1 terdiri atas Titik A, D, dan E yang berada sangat dekat dengan tungku dan memiliki ventilasi terbatas; Bagian 2 mencakup Titik B, C, dan F yang berada di sekitar tungku namun memiliki akses terbuka terhadap ventilasi; sementara Bagian 3 hanya terdiri dari Titik G yang berlokasi jauh dari sumber emisi dan berada dekat dengan bukaan ventilasi.



Gambar 3. Denah Dapur Tradisional Rumah Makan Minangkabau



Gambar 4. Kontribusi Konsentrasi NO₂ di Dalam Dapur

Gambar 4 menunjukkan urutan konsentrasi tertinggi hingga terendah pada tiap titik pengukuran, dengan penandaan warna: merah (bagian 1, zona A, D, E), jingga (bagian 2, zona B, C, F), dan hijau (bagian 3, zona G). Bagian 1, mencatatkan konsentrasi NO₂ tertinggi selama proses pemantauan, sesuai dengan kedekatan terhadap sumber emisi yang menjadi faktor dominan dalam peningkatan konsentrasi. Keberadaan titik pengukuran yang dekat dengan tungku pembakaran sebagai sumber utama emisi di dalam ruangan serta kekurangan akses ventilasi sebagai media pertukaran udara menjadi alasan dari tingginya kontribusi konsentrasi pada bagian ini.

Sementara itu, Bagian 2 yang memiliki karakteristik ruang yang lebih terbuka dengan akses ventilasi pada jendela, ventilasi permanen, dan pintu mencatatkan konsentrasi NO₂ yang sedang, meskipun bagian ini masih berada dekat dengan sumber emisi, tingkat konsentrasinya jauh lebih rendah dibandingkan Bagian 1. Hal ini mengindikasikan pengaruh ventilasi dalam menurunkan konsentrasi NO₂ di dalam ruangan.

Bagian 3, menunjukkan konsentrasi NO₂ paling rendah dibandingkan bagian lainnya. Lokasi ini secara fisik terpisah dari area utama pembakaran dan berada di ruang pemotongan daging yang memiliki ventilasi paling optimal, yaitu berupa pintu belakang dan jendela yang memungkinkan terjadinya ventilasi silang. Keberadaan sekat ruangan secara signifikan membatasi pergerakan gas hasil pembakaran dari tungku, sehingga infiltrasi polutan yang terjadi di area ini relatif minim. Selain itu, tidak adanya aktivitas pembakaran langsung dan suhu yang lebih rendah mendukung rendahnya pembentukan dan akumulasi NO₂.

Hasil ini memperjelas bahwa jarak terhadap sumber emisi utama, yaitu tungku pembakaran, secara langsung memengaruhi tingkat konsentrasi NO₂. Proses memasak yang dilakukan dengan

intensitas tinggi pada tungku berbahan bakar padat menghasilkan emisi NO₂ dalam jumlah besar. Semakin dekat suatu titik terhadap area tersebut, maka tingkat paparan akan semakin tinggi. Selain faktor jarak, peran ventilasi juga krusial dalam mendistribusikan dan mengencerkan polutan di dalam ruangan. Pertukaran udara alami melalui jendela, pintu, dan bukaan atap memungkinkan difusi gas menuju luar ruangan, sehingga menurunkan konsentrasi secara signifikan pada zona yang lebih terbuka.

3.4. Faktor yang Mempengaruhi Emisi NO₂

Konsentrasi NO₂ yang tinggi di dapur tradisional rumah makan Minangkabau secara dominan dipengaruhi oleh penggunaan bahan bakar padat serta karakteristik ventilasi ruangan. Selama periode pemantauan, proses memasak dilakukan setiap hari dengan menggunakan dua jenis bahan bakar utama, yakni kayu bakar jenis kayu manis (*Cassia vera*) dan arang tempurung kelapa, serta tambahan minyak tanah sebagai bahan pemantik awal. Kayu bakar digunakan secara intensif pada tungku utama, dengan estimasi konsumsi mencapai 4 m³ per minggu. Pemilihan bahan bakar ini mencerminkan praktik kuliner yang telah berlangsung secara turun-temurun dan menjadi bagian dari warisan budaya setempat.

Namun, pembakaran bahan bakar padat dalam kondisi ventilasi yang tidak optimal berpotensi menghasilkan emisi NO₂ dalam jumlah signifikan akibat proses pembakaran. Penelitian oleh Agbo dkk., (2021) menyebutkan bahwa kayu bakar menghasilkan emisi NO₂ yang jauh lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bersih seperti LPG, terutama karena tidak stabilnya suhu dan tingginya kandungan partikulat yang dilepaskan selama pembakaran. Studi Baxter dkk., 2007; Bootdee & Chantara, 2014 menemukan hubungan yang erat antara partikulat (PM) dan gas (NO₂) pada pembakaran. Kedua polutan ini sering kali terdeteksi

secara bersamaan dalam konsentrasi tinggi, dan menunjukkan korelasi positif yang signifikan dalam berbagai kondisi.

Selain itu, Kumari dkk., (2014) menyatakan bahwa emisi dari pembakaran kayu bersifat fluktuatif, tergantung pada tahapan pembakaran, kadar kelembapan bahan bakar, dan kondisi lingkungan sekitar. Dalam penelitian ini, kayu bakar disimpan di ruang terbuka dan terpapar udara luar, sehingga berpotensi memiliki kandungan air yang tinggi. Kayu dengan kelembapan tinggi diketahui menyebabkan pembakaran lebih lambat, sehingga dapat meningkatkan pelepasan senyawa polutan seperti NO₂.

Faktor lain yang diperkirakan turut berkontribusi adalah karakteristik ventilasi ruang dapur. Area dengan ventilasi yang terbatas menunjukkan konsentrasi NO₂ yang lebih tinggi dibandingkan area yang dekat dengan bukaan seperti jendela, ventilasi permanen, dan pintu. Kurangnya ventilasi aktif menyebabkan waktu tinggal (*residence time*) polutan di udara menjadi lebih lama, sehingga akumulasi konsentrasi pun meningkat. Temuan ini sejalan dengan penelitian Kamilia dkk., (2023), yang menekankan pentingnya sirkulasi udara dalam mengendalikan akumulasi polutan dalam ruangan tertutup.

Di luar faktor-faktor utama tersebut, diduga terdapat kemungkinan tambahan sumber NO₂ dari aktivitas merokok oleh pekerja dapur. Penelitian dari Braun dkk., (2021) menyatakan bahwa pembakaran satu batang rokok dapat menghasilkan 293 µg/m³ NO₂ ke udara, dan pada puncaknya dapat mencapai 357 µg/m³. Penelitian ini menggarisbawahi bahwa pembakaran rokok secara terus menerus dalam suatu ruangan tertutup akan mempengaruhi kualitas udara di dalam ruangan secara signifikan. Berdasarkan pengamatan di lapangan, tercatat bahwa dua dari enam pekerja memiliki kebiasaan merokok, meskipun aktivitas merokok hanya dilakukan saat persiapan atau setelah kegiatan memasak selesai. Asap rokok berpotensi untuk menambah beban polutan di udara dalam ruang, khususnya jika dilakukan di ruang tertutup dengan ventilasi terbatas. Namun, hal ini masih membutuhkan penelitian lebih lanjut.

Secara keseluruhan, tingginya konsentrasi NO₂ di dapur tradisional Minangkabau merupakan hasil dari interaksi kompleks antara jenis bahan bakar padat, kelembapan kayu, durasi dan frekuensi aktivitas memasak, ventilasi ruang, serta potensi tambahan dari kebiasaan merokok oleh pekerja. Situasi ini menimbulkan potensi risiko kesehatan jangka panjang bagi pekerja, sehingga diperlukan upaya mitigasi seperti perbaikan sistem ventilasi, tanpa mengesampingkan nilai-nilai budaya dalam praktik memasak tradisional yang telah mengakar kuat.

4. KESIMPULAN

Konsentrasi NO₂ di dapur tradisional rumah makan Minangkabau cukup tinggi dan berfluktuasi selama enam minggu pemantauan, dengan rata-rata

mencapai 288 µg/m³ dan rentang konsentrasi sebesar 223–327 µg/m³. Tungku merupakan sumber utama emisi pencemar udara. Minimnya ventilasi di area tungku menyebabkan konsentrasi tertinggi tercatat pada area yang dekat dengan tungku pembakaran, sedangkan area yang lebih terbuka menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah.

Penurunan konsentrasi saat tidak ada aktivitas memasak membuktikan peran signifikan emisi pembakaran dari tungku masak dan sistem ventilasi yang ada. Sistem ventilasi alami cukup efektif menurunkan tingkat konsentrasi pencemar bila tersedia waktu yang cukup bagi gas di dalam ruangan untuk terdifusi ke luar. Pada pengamatan, hal ini dibuktikan oleh pengukuran saat tidak ada kegiatan memasak selama 2 hari yang dapat menurunkan konsentrasi di seluruh ruangan hingga 98% (0 – 8 mg/m³).

Penelitian ini menegaskan bahwa paparan NO₂ (dan dapat diperkirakan juga pencemar udara hasil pembakaran lainnya seperti CO, partikulat dan senyawa HC) di dapur tradisional sangat dipengaruhi oleh bahan bakar yang digunakan, desain ruang dan tata letak yang menentukan lokasi sumber emisi dan tidak tersedianya sistem pembuangan emisi tungku masak yang dapat dioperasikan selama kegiatan memasak.

Bila penggunaan kayu bakar, terutama yang spesifik, a.l. jenis kayu tertentu seperti *Cassia vera* mutlak diperlukan dan tidak tergantikan karena menjadi faktor yang menentukan keotentikan cita rasa masakan tradisional Minangkabau, maka diperlukan sistem pembuangan dan sirkulasi udara yang memadai untuk memperbaiki mutu udara di dalam ruang dapur. Hal ini dapat dilakukan a.l. dengan menggunakan pengisap udara mekanis dan pemasangan saluran pembuangan asap yang lebih efektif.

Penurunan konsentrasi NO₂ yang signifikan saat dapur tidak beroperasi selama 2 hari menunjukan bahwa sistem ventilasi pasif eksisting juga dapat bekerja dengan baik. Namun opsi jeda operasional kegiatan memasak ini dapat menimbulkan konsekuensi ekonomi. Sebagai alternatif, dengan desain ventilasi ruangan yang cukup, opsi teknologi rendah biaya juga dapat dilakukan dengan pemasangan fan secara strategis yang dikombinasikan dengan perbaikan bukaan ventilasi eksisting atau ventilasi silang untuk mempercepat pertukaran udara. Di samping pengendalian pencemaran udara, untuk menjaga mutu udara, pelarangan aktivitas merokok di area dapur perlu dilakukan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan terkait dengan fokus yang lebih ditekankan pada analisis konsentrasi NO₂ di dalam dapur tradisional rumah makan Minangkabau, sehingga hasil pengukuran udara luar tidak dibahas dalam naskah ini. Selain itu, meskipun terdapat aktivitas merokok oleh sebagian pekerja, penelitian ini tidak melakukan pengukuran khusus untuk membedakan kontribusi emisi rokok

dan emisi dari pembakaran biomassa. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi kontribusi relatif berbagai sumber emisi terhadap konsentrasi NO₂ di dalam dapur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Laboratorium Kualitas Udara, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dt. Tumanguang, N.H. atas ijinnya untuk penggunaan lokasi studi dan Bapak Desyusbar untuk bantuan dalam pengambilan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Adon, M., Galy-Lacaux, C., Yoboué, V., Delon, C., Lacaux, J. P., Castera, P., Gardrat, E., Pienaar, J., Al Ourabi, H., Laouali, D., Diop, B., Sigha-Nkamdjou, L., Akpo, A., Tathy, J. P., Lavenue, F., & Mougin, E. (2010). Long term measurements of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ammonia, nitric acid and ozone in Africa using passive samplers. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(15). <https://doi.org/10.5194/acp-10-7467-2010>
- Agbo, K. E., Walgraave, C., Eze, J. I., Ugwoke, P. E., Ukoha, P. O., & Van Langenhove, H. (2021). Household indoor concentration levels of NO₂, SO₂ and O₃ in Nsukka, Nigeria. *Atmospheric Environment*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117978>
- Alves, C. A., Feliciano, M. J. S., Gama, C., Vicente, E., Furst, L., & Leitão, A. (2024). First exploratory study of gaseous pollutants (NO₂, SO₂, O₃, VOCs and carbonyls) in the Luanda metropolitan area by passive monitoring. *Environmental Pollution*, 362, 125015. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125015>
- Ayers, G. P., Keywood, M. D., Gillett, R., Manins, P. C., Malfroy, H., & Bardsley, T. (1998). Validation of passive diffusion samplers for SO₂ and NO₂. *Atmospheric Environment*, 32(20), 3587–3592. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00079-X)
- Bacaloni, A., Insogna, S., & Zoccolillo, L. (2011). Indoor Air Quality. Volatile Organic Compounds: Sources, Sampling and Analysis. In *Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality*. <https://doi.org/10.5772/21645>
- Baxter, L. K., Clougherty, J. E., Laden, F., & Levy, J. I. (2007). Predictors of concentrations of nitrogen dioxide, fine particulate matter, and particle constituents inside of lower socioeconomic status urban homes. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 17(5). <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500532>
- Bernstein, J. A., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, I. L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oullette, J., Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A., & Tarlo, S. M. (2008). The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3), 585–591. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.10.045>
- Bootdee, S., & Chantara, S. (2014). Emission of Fine Particulate Matter and Nitrogen Dioxide from Incense Burning in Shrines, Chiang Mai, Thailand. *International Journal of Environmental Science and Development*. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2014.v5.483>
- Braun, M., Klingelhöfer, D., Müller, R., & Groneberg, D. A. (2021). The impact of second-hand smoke on nitrogen oxides concentrations in a small interior. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90994-x>
- Byanju, R. M., Gewali, M. B., & Manandhar, K. (2012). Passive Sampling of Ambient Nitrogen Dioxide Using Local Tubes. *Journal of Environmental Protection*, 03(02). <https://doi.org/10.4236/jep.2012.32022>
- Cape, J. N. (2009). The Use of passive diffusion tubes for measuring concentrations of nitrogen dioxide in air. In *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 39, Issue 4). <https://doi.org/10.1080/10408340903001375>
- Dickerson, A. S., Frndak, S., Gorski-Steiner, I., Deng, Z., Jensen, T. E., Mohan, A., Kim, J., Boerner, V. Q., & Thorpe, R. J. (2023). Outdoor Air Pollution, Environmental Injustice, and Cognitive Decline: a Review. *Current Epidemiology Reports*, 10(3), 158–167. <https://doi.org/10.1007/s40471-023-00326-y>
- Dimitroulopoulou, S., Dudzińska, M. R., Gunnarsen, L., Hägerhed, L., Maula, H., Singh, R., Toyinbo, O., & Haverinen-Shaughnessy, U. (2023). Indoor air quality guidelines from across the world: An appraisal considering energy saving, health, productivity, and comfort. In *Environment International* (Vol. 178). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108127>
- Handika R.A. & Driejana. (2013). Polusi Udara Dalam Rumah Sekitar Jalan Raya: Intrusi NO₂ Dari Transportasi dan Gangguan Pernapasan pada Penghuni Rumah. *Jurnal Dampak*, 10(2), 119.
- Jarvis DJ, Adamkiewicz G, Heroux ME, dkk. (2010). Nitrogen dioxide. In: WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. In *Geneva: World Health Organization*.
- Kamilia, N. A., Zenissa, R., Syaifei, A. D., & Hermana, J. (2023). The Effect of Ventilation and Cooking Activities during Peak Hours towards Indoor CO and NO₂ in Apartments: A Multilevel Approach. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*, 26. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_93
- Khawaja, H. A., Siddique, A., & Hussain, M. M. (2023). Outdoor Air Pollution and Human Health. In *Atmosphere* (Vol. 14, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/atmos14010054>
- Kumari, H., Chandra, A., & Kaaushik, S. C. (2014). Comparative study on emissions from traditional and improved biomass cookstoves used in India. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2(8).
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (1994). Applied Statistics and Probability for Engineers. *European Journal of Engineering Education*, 19(3). <https://doi.org/10.1080/03043799408928333>
- Seethapathy, S., Górecki, T., & Li, X. (2008). Passive sampling in environmental analysis. In *Journal of Chromatography A* (Vol. 1184, Issues 1–2). <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.07.070>
- SNI 7119-2. (2017). *Udara ambien-Bagian 2: Cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan metode Griess-Saltzman menggunakan spektrofotometer*. www.bsn.go.id

- Adetya, A., Driejana, dan Yudison, A. P. (2026). Konsentrasi NO₂ pada Dapur Tradisional Rumah Makan Minangkabau. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(2), 422-431, doi:10.14710/jil.24.2.422-431
- SNI 7119-17. (2023). Udara ambien—Bagian 17: Cara uji kadar gas nitrogen dioksida (NO₂) dengan metode difusi menggunakan spektrofotometer. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Svendsen, K., Jensen, H. N., Sivertsen, I., & Sjaastad, A. K. (2002). Exposure to cooking fumes in restaurant kitchens in Norway. *Annals of Occupational Hygiene*, 46(4), 395–400. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mef045>
- Syed, M., Folz, R. J., & Ali, U. (2023). Environmental Factors and Their Impact on Airway Diseases: Exploring Air Pollution, Indoor and Outdoor Allergens, and Climate Change. *Current Pulmonology Reports*, 12(3), 162–170. <https://doi.org/10.1007/s13665-023-00319-8>
- Villanueva, F., Ródenas, M., Ruus, A., Saffell, J., & Gabriel, M. F. (2022). Sampling and analysis techniques for inorganic air pollutants in indoor air. In *Applied Spectroscopy Reviews* (Vol. 57, Issue 7, pp. 531–579). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/05704928.2021.2020807>
- Yang, W., Lee, K., & Chung, M. (2004). Characterization of indoor air quality using multiple measurements of nitrogen dioxide. *Indoor Air*, 14(2). <https://doi.org/10.1046/j.1600-0668.2003.00216.x>
- Yudison, A.P. & Driejana. (2015). Development of indoor air pollution concentration prediction by geospatial analysis. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(3). <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.3.6>
- Hastuti, Y., Irsyad, M., Driejana (2012). Pengaruh Temperatur terhadap Difusitas Sampler Pasif Tipe Tube untuk Pengukuran NO₂, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(2), 201. <https://doi.org/10.5614/jtl.2012.8.2.10>