

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN DAN KONSENTRASI
GAS NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) DI KAMPUS
UNIVERSITAS JAMBI MENDALO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan



**DALTON HUTASOIT
M1D120033**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL, KIMIA DAN LINGKUNGAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, 16 Juli 2025

Saya menyatakan



Dalton Hutasoit

M1D120033

RINGKASAN

Nitrogen Dioksida (NO_2) merupakan salah satu polutan udara yang dapat menurunkan kualitas udara serta berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan ekosistem. Gas ini juga berperan sebagai prekursor utama dalam pembentukan ozon (O_3) di atmosfer. Termasuk dalam kelompok Nitrogen Oksida (NO_x), NO_2 termasuk gas yang sangat reaktif. Sumber emisi NO_2 di udara dapat berasal dari proses alami seperti aktivitas tumbuhan, tanah, dan perairan, maupun dari aktivitas antropogenik. Tujuan penelitian ini adalah mengukur tingkat konsentrasi gas NO_2 berdasarkan faktor meteorologi dan volume kendaraan di Kampus Universitas Jambi Mendalo. Tujuan kedua menganalisis dampak paparan gas NO_2 terhadap risiko kesehatan civitas akademika. Latar belakang penelitian didasari oleh kekhawatiran akan dampak polutan NO_2 yang bersifat toksik jika terpapar secara terus-menerus, terutama di lingkungan kampus yang padat aktivitas kendaraan.

Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan pengukuran kadar NO_2 menggunakan alat impinger berdasarkan SNI 7119.2:2017 tentang *Udara Ambien – Bagian 2: Cara Uji Kadar Nitrogen Dioksida (NO_2) dengan Metode Griess-Saltzman menggunakan Spektrofotometer*. Proses pengambilan sampel dan analisis dilakukan sesuai standar prosedur yang ditetapkan dalam SNI tersebut untuk memastikan akurasi data. Selain itu, penelitian ini juga menerapkan analisis statistik parametrik (korelasi Pearson) untuk menguji hubungan antara volume kendaraan dan konsentrasi NO_2 , serta melakukan survei kuisioner terhadap 50 responden mahasiswa untuk menilai dampak paparan NO_2 terhadap kesehatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif sedang ($r=0,552$) antara volume kendaraan dan peningkatan kadar NO_2 , meskipun tidak signifikan secara statistik ($p\text{-value}=0,156$) karena keterbatasan sampel pengukuran ($n=8$). Analisis risiko kesehatan menggunakan *Risk Quotient* (RQ) mengungkapkan bahwa tidak ada responden yang berisiko mengalami efek non-karsinogenik (semua $\text{RQ} < 1$), hal ini menunjukkan bahwa paparan NO_2 di lingkungan kampus masih dalam batas aman. Kesimpulannya tingkat paparan NO_2 saat ini di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo tidak menimbulkan risiko kesehatan berdasarkan penilaian *Risk Quotient* (RQ). Penelitian ini memberikan data dasar yang penting untuk manajemen kesehatan lingkungan di lingkungan akademik.

Kata Kunci: Nitrogen Dioksida, Griess-Saltzman, Impinger, *Risk Quotient*.

SUMMARY

Nitrogen Dioxide (NO₂) is a significant air pollutant that degrades air quality and adversely affects human health and the environment. As a primary precursor in atmospheric ozone (O₃) formation, NO₂ belongs to the highly reactive group of gases known as Nitrogen Oxides (NO_x). Ambient NO₂ originates from both natural processes (including emissions from plants, soil, and water) and anthropogenic sources. This study aimed to: (1) measure NO₂ concentration levels in relation to meteorological factors and vehicular traffic volume at Jambi University's Mendalo Campus, and (2) evaluate the health risks posed by NO₂ exposure to the academic community. The research was motivated by growing concerns about the toxic effects of prolonged NO₂ exposure, particularly in campus environments with high vehicular activity.

The study employed a quantitative descriptive approach, measuring NO₂ concentrations using impinger apparatus in strict compliance with the Indonesian National Standard (SNI) 7119.2:2017 for "Ambient Air - Part 2: Test Method for Nitrogen Dioxide (NO₂) Content Using Griess-Saltzman Spectrophotometry." All sampling and analytical procedures followed established SNI protocols to ensure data accuracy. The research methodology incorporated parametric statistical analysis (Pearson correlation) to examine the vehicle volume-NO₂ concentration relationship, complemented by health impact surveys of 50 student respondents.

Key findings revealed: A moderate positive correlation ($r=0.552$) between vehicular traffic and NO₂ levels, though statistically insignificant ($p\text{-value}=0.156$) due to the limited sample size ($n=8$). Risk Quotient (RQ) analysis demonstrated no current non-carcinogenic health risks (all RQ values <1), indicating that existing NO₂ exposure levels remain within safe thresholds. In conclusion, while NO₂ concentrations show a positive trend with increasing vehicular volume, current exposure levels at Jambi University's Mendalo Campus pose no immediate health risks based on RQ assessment. The study underscores the importance of ongoing air quality monitoring and recommends proactive traffic management strategies to maintain environmental health standards. These findings provide crucial baseline data for environmental health management in academic institutions.

Keywords: Nitrogen Dioxide, Griess-Saltzman, Impinger, Risk Quotient.

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN DAN KONSENTRASI
GAS NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) DI KAMPUS
UNIVERSITAS JAMBI MENDALO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan



**DALTON HUTASOIT
M1D120033**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL, KIMIA DAN LINGKUNGAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2025

PENGESAHAN

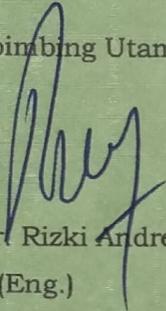
Skripsi ini dengan judul "**ANALISIS RISIKO KESEHATAN DAN KONSENTRASI NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) DI KAMPUS UNIVERSITAS JAMBI**" yang disusun oleh **Dalton Hutascit, NIM: M1D120033**.

Susunan Tim Penguji:

Ketua : Dr. Ir. Rizki Andre Handika, ST, MT, Ph.D(Eng.)
Sekretaris : Ir. Febri Juita Anggraini, S.T., M.T.
Anggota : 1. Ir. Freddy Ilfan, S.T., M.T.
2. Ir. Hariestya Viareco, B.Eng., M.Eng.
3. Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T.

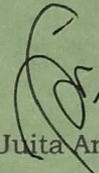
Disetujui

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Rizki Andre Handika, ST, MT,
Ph.D(Eng.)
NIP. 198304142011011007

Pembimbing Pendamping



Ir. Febri Juita Anggraini, S.T., M.T
NIP. 198302192018032001

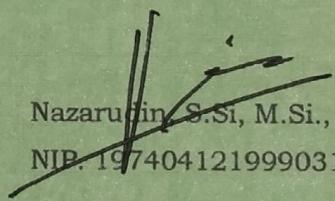
Diketahui

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi




Drs. Jefri Murzal, M.Sc., D.I.T
NIP. 196806021993031004

Ketua Jurusan Teknik Sipil, Kimia
dan Lingkungan


Nazarudin, S.Si, M.Si., Ph.D
NIP. 197404121999031004

RIWAYAT HIDUP



Dalton Hutasoit putra ke tiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Balige Hutasoit dan Ibu Lestari Nababan. Penulis lahir di Lintong Gaol pada tanggal 25 Juni 2002. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari sekolah dasar di SD Negeri 173276 Hutasoit Pardomuan dan lulus pada tahun 2014.

Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Siborongborong dan lulus pada tahun 2017. Selanjutnya, melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Siborongborong dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2020 penulis diterima di Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi Melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama berkuliah di Program studi Teknik Lingkungan pernah menjadi bagian dari Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada tahun 2022-2023. Penulis melaksanakan kerja Praktek di Perusahaan Riau Andalan *Pulp and Paper* (RAPP) yang dimulai pada bulan Juni hingga Agustus 2022 dengan judul **“Konsentrasi MLSS (*Mixed-Liqour Suspended Solids*) Dan Nilai F/M (*Food To Microorganism Ratio*) Pada Unit *Aeration Basin* Di Pt Rapp (Riau Andalan *Pulp And Paper*)”**. Kemudian penulis mengerjakan Tugas Akhir (TA) dibidang lingkungan yang berjudul **“Analisis Risiko Kesehatan dan Konsentrasi Gas Nitrogen Dioksida di Kampus Universitas Jambi Mendalo”** di bawah bimbingan Bapak Dr. Ir. Rizki Andre Handika, ST, MT, Ph.D(Eng.) dan Ibu Ir. Febri Juita Anggraini, S.T., M.T.

PRAKATA

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan judul “ Analisis Risiko Kesehatan dan Konsentrasi Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kampus UNJA Mendalo”. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat mencapai gelar sarjana (S1) Teknik Lingkungan di Universitas Jambi. Penulis menyadari pelaksanaan penyusunan skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa partisipasi dari beberapa pihak yang ikut baik secara langsung maupun tidak langsung dalam memberikan pengalaman serta ilmunya. Maka, penulis menyampaikan banyak terima kasih sedalam-dalamnya kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga laporan ini dapat selesai dengan baik.
2. Kepada kedua orangtua tercinta Ayah Balige Hutasoit dan Ibu Lestari Nababan yang telah memberikan dukungan tanpa henti, baik secara moral, spritual, maupun material. Doa, kasih sayang, dan motivasi dari Ayah dan Ibu menjadi kekuatan terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan studi dan menghadapi setiap tantangan selama penyusunan skripsi ini. Terimakasih atas segala pengorbanan, kerja keras, dan kepercayaan yang diberikan. Semoga Tuhan membalas semua kebaikan dengan keberkahan dan kesehatan. Penulis berharap dapat membanggakan Ayah dan Ibu dengan hasil yang terbaik.
3. Bapak Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T., Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
4. Bapak Nazarudin, S.Si, M.Si., Ph.D., Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Kimia dan Lingkungan.
5. Ibu Ir. Febri Juita Anggraini, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Jambi.
6. Bapak Dr. Ir. Rizki Andre Handika, ST, MT, Ph.D(Eng.). Selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Ibu Ir. Febri Juita Anggraini, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Bapak Ir. Freddy Ilfan, S.T., M.T., Bapak Ir. Hariesty Viareco, B.Eng., M.Eng., dan Ibu Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran kepada penulis.
9. Bapak dan Ibu dosen di Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan.
10. Segenap Staf Laboratorium, Staf Tata Usaha dan Staf Civitas Akademika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi yang telah membantu penulis selama perkuliahan dan penelitian.
11. Annisya Khairati, Muhammad Feriansyah, dan Zahra Nurulita Amanda selaku teman dan tim yang telah membantu penulis didalam proses pengambilan data skripsi.
12. Gunawan Simanungkalit, Gunawan Situmorang dan teman-teman lainnya yang ikut membantu dan memberikan suport kepada penulis.
13. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2020 yang ikut serta memberikan dukungannya dan semua pihak yang ikut terlibat selama pelaksanaan penelitian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Jambi, 16 Juli 2025

Yang menyatakan



Dalton Hutasoit

M1D120033

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	i
RIWAYAT HIDUP.....	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pencemaran Udara	5
2.2 Nitrogen Dioksida NO ₂	6
2.2.1 Karakteristik NO ₂	6
2.2.2 Sumber Distribusi NO ₂	8
2.2.3 Siklus NO ₂ di atmosfer	9
2.2.4 Dampak Pencemaran NO ₂	10
2.2.5 Nitrogen Dioksida dan Kendaraan Bermotor.....	11
2.3 Penelitian Terdahulu	12
III. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	14
3.2 Skema dan Tahapan Penelitian	16
3.2.1 Pengambilan sampel	17
3.2.2 Konsentrasi NO ₂ dalam larutan standar	18
3.2.3 Volume Uji.....	18
3.2.4 Konsentrasi NO ₂ di udara ambien	19
3.2.5 Pengukuran Suhu, Kelembapan dan Kecepatan Angin	20
3.2.6 Pengukuran Kepadatan Lalu Lintas	20
3.3 Analisis Data	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Evaluasi Konsentrasi Gas NO ₂ Berdasarkan Faktor Meteorologi dan Volume Kendaraan di Kampus UNJA Mendalo	23
4.1.1 Pengambilan Sampel dan Analisis Laboratorium Konsentrasi NO ₂	23

4.1.3 Hubungan Faktor Meteorologi dan Volume Kendaraan dengan NO ₂ ..	29
4.2 Analisis Dampak Paparan Gas NO ₂ terhadap Civitas Akademik	48
4.2.1 Analisis Deskriptif Responden.....	48
4.2.2 Analisis Paparan NO ₂	53
V. KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku Mutu Udara Ambien Nasional	5
2. Penelitian terdahulu	12
3. Lokasi titik sampling	15
4. Alat dan Bahan.....	17
5. Konsentrasi NO ₂ dalam Larutan Standar	24
6. Volume Udara Sampel	26
7. Nilai absorbansi larutan standar NO ₂	26
8. Konsentrasi NO ₂ dalam Udara Ambien.....	28
9. Kondisi Meteorologi	29
10. Analisis Deskriptif Suhu dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2.....	32
11. Uji Normalitas Suhu dan NO ₂	33
12. Uji t-test Suhu, Kelembapan dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2.....	34
13. Uji korelasi Suhu dan NO ₂	35
14. Analisis Deskriptif Kelembapan dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2	38
15. Uji Normalitas Kelembapan dan NO ₂	39
16. Korelasi Kelembapan dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2	39
17. Analisis deskriptif Kecepatan Angin dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2 ...	41
18. Uji Normalitas Kecepatan Angin dan NO ₂	42
19. Uji t-test Kecepatan Angin dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2	43
20. Korelasi Kecepatan Angin dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2	44
21. Uji Normalitas Volume Kendaraan dan NO ₂	46
22. Korelasi Volume Kendaraan dan NO ₂ pada Titik Sampling 1 dan 2.....	47
23. Distribusi Demografi Responden	48
24. Persepsi tentang Pencemaran Gas NO ₂	50
25. Paparan Terhadap Gas NO ₂	51
26. Dampak Kesehatan yang Dirasakan.....	52
27. Persepsi Responden Terhadap Risiko Kesehatan.....	53
28. <i>Risk Quotient</i> (RQ) Realtime dan Lifetime NO ₂	56
29. Persentase Nilai <i>Risk Quotient</i> (RQ) Paparan.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus Nitrogen pada Atmosfer	9
2. Lokasi pengambilan sampel.....	14
3. Diagram alir penelitian	16
4. Kurva kalibrasi Larutan Standar NO ₂	27
5. Hubungan Suhu dengan Konsentrasi NO ₂	31
6. Hubungan Kelembapan dengan Konsentrasi NO ₂	37
7. Hubungan Kecepatan Angin dengan Konsentrasi NO ₂	40
8. Hubungan Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO ₂	45
9. Nilai RQ berdasarkan Semester responden	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Kondisi Lapangan pada saat pengambilan sampel gas NO ₂	67
2. Pembuatan Larutan Standar	68
3. Kuesioner Penelitian.....	69

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi udara terjadi ketika zat-zat pencemar masuk ke atmosfer melalui aktivitas manusia atau fenomena alam, menyebabkan perubahan komposisi udara sehingga menurunkan kualitasnya hingga tingkat tertentu dan mengganggu fungsinya. Salah satu penyumbang utama polusi udara adalah sektor transportasi, yang memancarkan nitrogen oksida (NO_x) sebagai polutan. Ketika NO bereaksi dengan oksigen dapat meningkatkan konsentrasi nitrogen dioksida (NO₂), gas yang berwarna merah keabu-abuan yang dapat mengiritasi mata dan menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan manusia (Dewapandhu dan Pribadi, 2023).

Dampak tingginya konsentrasi gas NO₂ terhadap lingkungan dapat menghasilkan perubahan warna pada udara luar tampak kecokelatan. Ini dapat memicu pembentukan kabut asap foto-kimia ketika NO₂ bereaksi dengan sinar matahari dan hidrokarbon di udara. Kabut asap ini terdiri dari ozon, aldehida, dan Peroksi Asil Nitrat (PAN). Senyawa-senyawa ini dapat mengakibatkan gangguan pada saluran pernapasan, menyebabkan iritasi pada paru-paru dan mata, serta berkontribusi pada kerusakan organ-organ seperti ginjal, hati, paru-paru dan jantung (Riviwanto & Sani, 2017). Konsentrasi gas NO₂ dapat menyebabkan gangguan pada saluran pernapasan manusia jika telah melewati batas aman yang telah ditetapkan dalam standar baku mutu udara ambien. Untuk itu, penting mengetahui baku mutu udara ambien adalah batasan atau kadar maksimum zat, energi, komponen, atau unsur pencemar yang diizinkan ada dalam udara ambien (Apriawati & Kiswandono, 2017). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, menyatakan bahwa baku mutu untuk NO₂ yang ada di udara adalah sebesar 100 µg/Nm³.

Universitas Jambi merupakan kampus negeri yang berada di Provinsi Jambi, dengan Kampus Pinang Masak sebagai pusat utamanya yang terletak di daerah Mendalo Darat, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi. Sebagai institusi pendidikan yang berkembang pesat dan selain sebagai tempat belajar, universitas ini juga menjadi pusat beragam kegiatan bagi mahasiswa dan masyarakat umum. Di dalam lingkungan kampus, kendaraan bermotor menjadi salah satu alat transportasi penunjang yang dikategorikan sebagai sumber bergerak. Kendaraan yang menggunakan bahan bakar seperti premium dan pertamax, yang pembakarannya dapat menghasilkan gas CO dan NO₂. Udara mengandung berbagai jenis gas berbahaya seperti CO, NO₂, dan SO₂, yang dapat menyebabkan masalah kesehatan. Konsentrasi gas CO dan NO₂ lebih

tinggi dibandingkan gas berbahaya lainnya, karena 80% dari total kendaraan di Indonesia adalah kendaraan bermotor (Nurfadila et al., 2023).

Berdasarkan siacad Unja jumlah mahasiswa Universitas Jambi mengalami pertumbuhan 1,3% dari tahun 2020 hingga tahun 2023. Seiring meningkatnya jumlah mahasiswa, maka semakin meningkat juga alat transportasi seperti kendaraan bermotor maupun mobil di dalam area kampus Universitas Jambi Mendalo yang secara tidak langsung menyebabkan peningkatan konsentrasi Nitrogen Dioksida, oleh karena itu, penelitian perlu dilakukan untuk mengetahui Analisis Konsentrasi Gas Nitrogen Dioksida (NO_2) dan apakah ada risiko kesehatan yang ditimbulkan terhadap civitas akademik di Kampus Universitas Jambi Mendalo .

Riset menyatakan terdapat keterkaitan antara paparan Nitrogen Dioksida (NO_2) dalam waktu singkat, berkisar 30 menit hingga 24 jam, dengan dampak samping pernapasan, seperti radang saluran pernapasan pada orang sehat dan peningkatan gejala pada pengidap asma. NO_2 mampu merangsang paru-paru serta menurunkan resistensi terhadap peradangan pernapasan, seperti influenza (Dewapandhu & Pribadi, 2023). Oleh karena itu, mengevaluasi tingkat pencemaran NO_2 dapat membantu melindungi kesehatan mahasiswa, staf, dan pengunjung di kampus UNJA. NO_2 juga dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan.

Evaluasi pencemaran udara NO_2 di kampus Universitas Jambi mendalo penting dilakukan karena adanya pemakaian kendaraan bermotor didalam kampus, hal ini dapat menyebabkan peningkatan emisi dari kendaraan bermotor ke lingkungan, sehingga mendorong dilakukannya penelitian mengenai kualitas udara yang memfokuskan pada konsentrasi Nitrogen Dioksida NO_2 . Oleh karena itu diperlukan pemahaman terhadap tingkat pencemaran NO_2 di aera kampus agar dapat membantu mengidentifikasi area di kampus yang mungkin memerlukan peningkatan sistem ventilasi atau tindakan lainnya. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor apa yang mempengaruhi konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) di udara ambien dan risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh Nitrogen Dioksida (NO_2) yang berada di Kampus Universitas Jambi Mendalo.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Pencemaran udara akibat emisi kendaraan bermotor menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang signifikan di kawasan padat aktivitas, termasuk di lingkungan kampus. Nitrogen dioksida (NO_2) merupakan salah satu polutan utama yang bersumber dari gas buang kendaraan dan dapat memberikan

dampak negatif terhadap kualitas udara maupun kesehatan manusia, terutama jika terpapar secara terus-menerus. Kampus Universitas Jambi Mendalo merupakan area dengan aktivitas lalu lintas tinggi yang berpotensi menghasilkan emisi NO_2 dalam jumlah signifikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran konsentrasi NO_2 di udara ambien kampus untuk mengetahui tingkat pencemarannya. Selain itu, perlu dikaji sejauh mana volume kendaraan dan kondisi meteorologi (seperti suhu, kelembapan, dan kecepatan angin) berpengaruh terhadap konsentrasi gas tersebut. Lebih lanjut, untuk menilai dampaknya terhadap kesehatan civitas akademika, dilakukan analisis risiko menggunakan pendekatan *Risk Quotient* (RQ).

Berdasarkan hal tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana tingkat konsentrasi NO_2 di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo.
2. Bagaimana hubungan antara volume kendaraan dan faktor meteorologi terhadap konsentrasi NO_2 .
3. Apakah paparan NO_2 menimbulkan risiko kesehatan berdasarkan perhitungan *Risk Quotient* (RQ).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui tingkat konsentrasi gas (NO_2) di Kampus UNJA Mendalo berdasarkan hasil pengukuran udara ambien.
2. Menganalisis hubungan antara volume kendaraan dan faktor meteorologi (suhu, kelembapan udara, dan kecepatan angin) terhadap konsentrasi NO_2 di Kampus UNJA Mendalo
3. Mengevaluasi potensi risiko kesehatan akibat paparan NO_2 di lingkungan kampus menggunakan metode *Risk Quotient* (RQ).

1.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian, serta pendekatan kuantitatif yang digunakan dalam menganalisis hubungan antara volume kendaraan dan faktor meteorologi terhadap konsentrasi NO_2 , maka hipotesis dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. H_0 : Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara volume kendaraan dengan konsentrasi NO_2 di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo.
2. H_1 : Terdapat hubungan yang signifikan antara volume kendaraan dengan konsentrasi NO_2 di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo.
3. H_0 : Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara faktor meteorologi (suhu, kelembapan, dan kecepatan angin) dengan konsentrasi NO_2 di lingkungan kampus.
4. H_1 : Terdapat hubungan yang signifikan antara faktor meteorologi (suhu, kelembapan, dan kecepatan angin) dengan konsentrasi NO_2 di lingkungan kampus.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Lokasi di Kampus Universitas Jambi Mendalo.
2. Parameter yang diukur adalah konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2).
3. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *impinger*.
4. Pengambilan sampel gas NO_2 menggunakan metode *Griess-Saltmanz*.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat, antara lain:

1. Manfaat penelitian ini bagi penulis sebagai sumber pembelajaran untuk meningkatkan pengetahuan dan pengalaman yang berharga di masa mendatang serta sebagai referensi bagi penelitian berikutnya.
2. Manfaat penelitian ini bagi Universitas Jambi memberikan informasi mengenai kualitas gas nitrogen dioksida NO_2 di Kampus Universitas Jambi Mendalo.
3. Manfaat bagi pemerintah, memberikan data ilmiah untuk penyusunan/penyesuaian kebijakan pengendalian emisi kendaraan bermotor di kawasan pendidikan.
4. Manfaat penelitian ini bagi masyarakat luas yaitu sebagai acuan evaluasi dan upaya pencegahan bagi masyarakat, lembaga, dan pemerintah terkait pencemaran udara, terutama jika kadar Nitrogen Dioksida NO_2 melebihi standar kualitas udara yang ditetapkan oleh pemerintah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Udara ambien terdiri dari berbagai gas dengan nitrogen (N) sebagai komponen utamanya. Gas dan zat tersebut secara alami masuk ke udara melalui proses seperti gas hasil pembusukan, debu akibat erosi, dan serbuk sari yang terbawa angin (Fitri, 2006). Di samping itu, aktivitas manusia seperti penggunaan kendaraan bermotor, kegiatan industri, dan kebakaran lahan dan hutan menentukan keberadaan kandungan/muatan yang berada di dalam udara dan dampaknya berpengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan manusia yang dikenal dengan pencemaran udara.

Polusi udara terjadi ketika zat-zat berbahaya terlepas ke atmosfer dan mencemari udara, sehingga berpotensi merusak ekosistem, mengancam kesehatan masyarakat, serta menurunkan kualitas hidup secara keseluruhan (Asiva Noor Rachmayani, 2015). Selain polusi ambien, polusi udara dalam ruangan juga beragam, menurut Kusnoputranto (2002), polusi udara dalam ruangan dapat dikategorikan menjadi enam kelompok:

1. Polusi dari Bahan Perabotan Rumah Tangga: Termasuk bahan-bahan sintetis dan beberapa bahan alami yang digunakan dalam pembuatan perabotan seperti karpet, busa, pelapis dinding, dan furnitur.
2. Pembakaran Bahan Bakar: Pembakaran bahan bakar yang digunakan untuk memasak dan memanaskan ruangan di dalam rumah dapat menghasilkan polutan udara.
3. Gas Beracun dari Tanah: Gas-gas beracun seperti radon yang terlepas ke dalam ruangan berasal dari dalam tanah.
4. Produk Konsumsi, produk seperti pengkilap perabot, perekat, kosmetik, dan pestisida juga dapat menyebabkan polusi udara dalam ruangan.
5. Mikroorganisme, kehadiran mikroorganisme juga merupakan salah satu sumber polusi udara dalam ruangan.

Tabel 1. Baku Mutu Udara Ambien Nasional

No	Parameter	Waktu	Baku Mutu
1	Aerosol (PM ₁₀)	24 jam	75 µg/m ³
2	CO	1 jam	10.000 µg/m ³
		8 jam	4.000 µg/m ³
3	Ozon	1 jam	150 µg/m ³
		8 jam	100 µg/m ³
		1 tahun	35 µg/m ³
4	SO ₂	1 jam	150 µg/m ³
		24 jam	75 µg/m ³
		1 tahun	45 µg/m ³

No	Parameter	Waktu	Baku Mutu
5	NO ₂	1 jam	200 µg/m ³
		24 jam	65 µg/m ³
		1 tahun	50 µg/m ³

Sumber : PP No. 22 Tahun 2021.

Pada **tabel 1.** terdapat Baku mutu udara ambien nasional yang telah ditetapkan sebagai batas maksimum mutu udara ambien untuk mencegah terjadinya pencemaran udara sebagaimana terlampir dalam PP No 22 Tahun 2021. WHO (*World Health Organization*) mengungkapkan bahwa polusi udara adalah salah satu penyebab utama masalah kesehatan lingkungan yang menyebabkan kematian setiap tahun di seluruh dunia (Pujaardana, 2016).

2.2 Nitrogen Dioksida NO₂

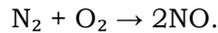
Gas nitrogen dioksida dihasilkan dari proses pembakaran. Selain nitrogen dioksida (NO₂), pembakaran juga menghasilkan nitrogen oksida (NO). Kedua gas ini, NO dan NO₂, sering digabungkan dan dikenal dengan istilah nitrogen oksida (NO_x).

2.2.1 Karakteristik NO₂

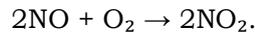
Salah satu polutan udara yang mendapat perhatian khusus adalah nitrogen dioksida (NO₂). Gas ini sangat beracun dan, karena memiliki kelarutan yang lebih rendah dalam air dibandingkan dengan sulfur dioksida (SO₂), NO₂ dapat menembus lebih dalam ke dalam saluran pernapasan. Dampak pertama dari paparan gas ini akan dirasakan oleh membran mukosa dan jaringan paru-paru. Setelah menembus saluran pernafasan, NO₂ dapat berdifusi ke aliran darah dan mencapai organ lain. Meskipun data epidemiologi masih terbatas, studi eksperimental menunjukkan risiko kesehatan serius akibat paparan NO₂ (Dewapandhu & Pribadi, 2023).

Nitrogen Oksida (NO_x = NO + NO₂) adalah salah satu polutan udara yang ada pada atmosfer. NO_x adalah gabungan gas nitrogen di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂), yang keduanya dikenal sebagai pencemar udara. NO ditemukan di udara dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan NO₂. Meskipun demikian, NO₂ memiliki tingkat toksisitas yang empat kali lebih tinggi daripada NO (Pujaardana, 2016).

Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) terbentuk sebagai hasil dari proses pembakaran bahan bakar fosil dalam mesin kendaraan bermotor, terutama pada suhu tinggi. Ketika bahan bakar seperti bensin atau solar terbakar di dalam ruang bakar mesin, nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂) dari udara masuk ke dalam reaksi termal dan membentuk Nitrogen Monoksida (NO) melalui reaksi:



Gas NO ini kemudian bereaksi lebih lanjut dengan oksigen di atmosfer, menghasilkan gas Nitrogen Dioksida (NO_2) melalui reaksi:



Reaksi ini biasanya terjadi setelah gas buang dilepaskan dari knalpot kendaraan dan bercampur dengan udara lingkungan. NO_2 yang terbentuk merupakan gas berwarna cokelat kemerahan, bersifat toksik, dan menjadi salah satu komponen utama pencemaran udara ambien. Selain itu, gas NO_2 juga berperan dalam pembentukan ozon troposferik dan kabut asap fotokimia (Fahmi, 2019).

Kadar NO_2 di udara jika melebihi Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) dapat menyebabkan dampak negatif, seperti hujan asam, kesulitan bernapas bagi penderita asma, batuk pada anak-anak dan orang tua, penurunan visibilitas, gangguan pernapasan, dan bahkan kematian. Oleh karena itu, penting bagi masyarakat untuk mengetahui kadar nitrogen dioksida (NO_2) yang aman bagi kesehatan (Male, 2021).

Sebagai polutan primer, NO_2 diemisikan dalam jumlah terbatas melalui kendaraan ke udara. Nitrogen dioksida juga merupakan polutan sekunder karena dapat terbentuk melalui oksidasi, Nitrogen dioksida selanjutnya teroksidasi menjadi asam nitrat (HNO_3), yang dapat masuk ke lingkungan melalui tanah sebagai tetesan atau partikel yang mengandung nitrat. Kadar nitrogen dioksida dapat mempengaruhi anak-anak, penderita asma, dan orang dewasa yang memiliki gangguan jantung dan pernapasan (Darmawan, 2018).

Menurut Hertel O., et al. (2011), NO_x berperan penting dalam pembentukan nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). NO_x dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti yang terjadi dalam aktivitas transportasi. Di troposfer, distribusi antara NO dan NO_2 ditentukan oleh reaksi antara ozon (O_3) dan NO yang membentuk NO_2 . Nitrogen dioksida (NO_2) dengan cepat menyerap radiasi sinar matahari, terutama pada panjang gelombang cahaya tampak kuning hingga biru dan ultraviolet (Fahmi, 2019).

Pembentukan NO_2 dari reaksi antara NO dan O_2 terjadi dalam jumlah yang relatif kecil meskipun terdapat kelebihan udara, berbeda dengan pembentukan CO_2 dari CO yang berlangsung lebih cepat dalam kondisi serupa. Proses konversi NO menjadi NO_2 ini berlangsung lambat karena sangat bergantung pada suhu dan konsentrasi NO, dimana reaksi justru melambat pada suhu tinggi. Sebagai contoh, pada suhu 1.100°C , konsentrasi NO_2 yang terbentuk biasanya kurang dari 0,5% dari total NO_x . Kecepatan pembentukan NO_2 dipengaruhi secara signifikan oleh jumlah oksigen yang tersedia dan berbanding lurus dengan

kuadrat konsentrasi NO - artinya peningkatan dua kali lipat konsentrasi NO akan meningkatkan laju pembentukan NO₂ empat kali lipat, sebaliknya penurunan konsentrasi NO menjadi setengahnya akan mengurangi kecepatan reaksi hingga seperempatnya. Ketika NO dilepaskan ke atmosfer melalui gas buang, senyawa ini akan mengalami pendinginan cepat dan mengalami proses pengenceran hingga 100 kali lipat akibat penyebaran di udara (Andry, 2012).

2.2.2 Sumber Distribusi NO₂

Emisi gas NO_x di daerah pedesaan rata-rata 10-100 kali lebih rendah dibandingkan di perkotaan, di mana konsentrasi NO_x mencapai 0,5 ppm (500 ppb). Emisi nitrogen oksida dipengaruhi oleh kepadatan penduduk, karena sumber utama NO_x yang dihasilkan oleh aktivitas manusia berasal dari pembakaran akibat kendaraan bermotor, produksi energi, dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO_x yang dihasilkan manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas alam, dan bensin (Pujaardana, 2016).

Konsentrasi NO_x di udara perkotaan berubah sepanjang hari sesuai dengan intensitas sinar matahari dan aktivitas kendaraan bermotor. Variasi konsentrasi NO_x terjadi seperti berikut (Wiyandari, 2010), sebelum matahari terbit, konsentrasi NO dan NO₂ relatif stabil, dengan kadar sedikit di atas tingkat minimum harian. Namun, seiring meningkatnya aktivitas manusia (terutama lalu lintas kendaraan bermotor) pada pukul 6–8 pagi, kadar NO melonjak signifikan, bahkan dapat mencapai puncak 1–2 ppm. Setelah matahari terbit, radiasi ultraviolet memicu peningkatan kadar NO₂ sekunder hingga sekitar 0,5 ppm. Bersamaan dengan itu, konsentrasi ozon (O₃) mulai naik, sementara kadar NO turun drastis hingga 0,1 ppm. Menjelang sore hari (pukul 5–8 malam), ketika intensitas cahaya matahari berkurang, kadar NO kembali meningkat. Perlu dicatat bahwa energi matahari tidak secara langsung mengoksidasi NO menjadi NO₂. Sebaliknya, O₃ yang terakumulasi sepanjang hari bereaksi dengan NO, menghasilkan peningkatan NO₂ sekaligus penurunan konsentrasi O₃.

Polutan NO_x di udara akhirnya dapat berubah menjadi asam nitrat (HNO₃) yang kemudian jatuh ke permukaan bumi melalui presipitasi atau menempel pada partikel debu sebagai senyawa nitrat. Proses pembentukan HNO₃ dari NO₂ sebenarnya masih terus diteliti oleh para ahli. Salah satu kemungkinan jalur pembentukannya adalah melalui reaksi antara NO₂ dengan radikal OH, meskipun peran reaksi ini dalam produksi HNO₃ skala besar dianggap tidak terlalu signifikan. Jalur pembentukan lain yang lebih penting melibatkan reaksi NO₂ dengan ozon (O₃) saat kadar NO₂ mencapai puncaknya. Dalam reaksi ini, O₃ bereaksi dengan NO₂ menghasilkan NO₃, yang kemudian bergabung dengan NO₂ membentuk N₂O₅. Senyawa N₂O₅ ini kemudian bereaksi dengan kelembaban

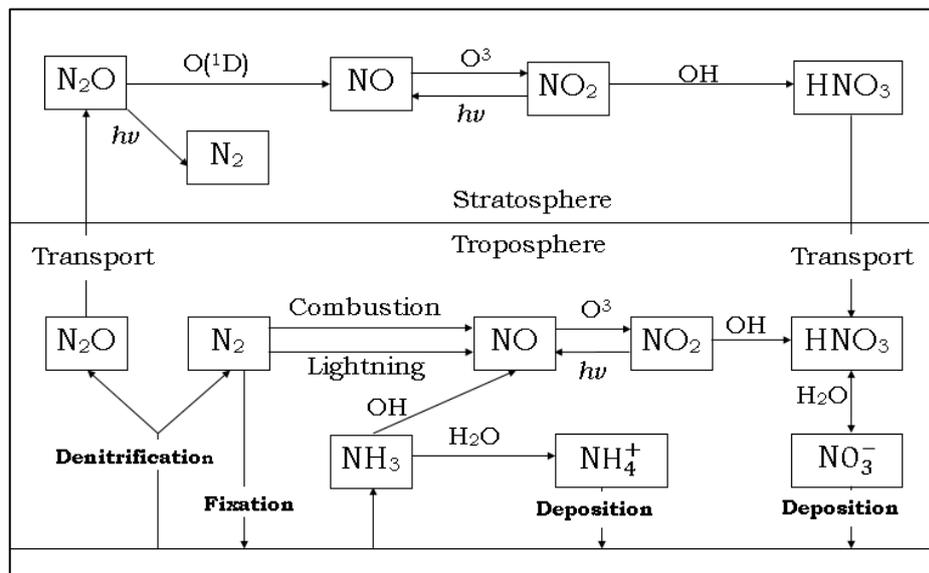
udara membentuk asam nitrat. Proses ini terutama aktif terjadi pada malam hari ketika molekul NO₃ tidak terurai oleh sinar matahari. HNO₃ yang terbentuk kemudian dapat kembali ke bumi melalui dua cara: terlarut dalam air hujan atau menempel pada partikel udara sebelum jatuh ke tanah. Ozon memegang peranan penting, dan kemungkinan tahapan reaksinya adalah sebagai berikut:



Proses-proses tersebut terus dikonfirmasi, namun yang penting adalah bahwa dalam udara, reaksi antara NO₂ dan lainnya menghasilkan pembentukan HNO₃ yang kemudian berpartisipasi dalam pembentukan partikel-partikel.

2.2.3 Siklus NO₂ di atmosfer

Nitrogen dioksida (NO₂) dan nitrogen oksida (NO), yang umumnya dikenal sebagai oksida nitrogen, merupakan gas minor yang terdapat di atmosfer Bumi, khususnya di lapisan troposfer dan stratosfer. Gas-gas ini masuk ke atmosfer melalui aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa, serta proses alami, seperti aktivitas mikrobiologis di tanah, kebakaran hutan, dan petir. Sekitar 95% emisi NO_x adalah NO. Pada siang hari, dengan adanya sinar matahari, siklus fotokimia yang melibatkan ozon (O₃) dapat mengubah NO menjadi NO₂ (Budiyono, 2015).



Gambar 1. Siklus Nitrogen pada Atmosfer

Sumber : (Seinfeld, 1986)

Dalam **gambar 1.** dapat dilihat siklus Nitrogen yang berada pada di atmosfer. Di stratosfer, nitrogen dioksida (NO₂) berpartisipasi dalam berbagai

reaksi fotokimia bersama ozon (O_3), yang secara signifikan memengaruhi kestabilan lapisan ozon (Pandis, 2006). Senyawa ini terbentuk melalui proses oksidasi nitrogen oksida (NO) menjadi NO_x , dan berfungsi sebagai katalis dalam mekanisme pengurangan lapisan ozon (Hendrick et al., 2012). Namun secara menarik, keberadaan NO_x juga dapat memberikan efek protektif dengan mengubah senyawa klorin dan hidrogen yang reaktif menjadi bentuk yang lebih stabil seperti klorin nitrat ($ClONO_2$) dan asam nitrat (HNO_3), sehingga mengurangi dampak penipisan ozon.

Siklus NO_2 dalam atmosfer dibatasi oleh ketinggian tertentu. Menurut penelitian oleh Sari N. K., dkk. (2015), polutan seperti SO_2 , NO_2 , dan O_3 hanya tersebar hingga ketinggian lapisan inversi atau batas pencampuran udara. Lapisan inversi ini, yang berada sekitar 731 hingga 785 meter di atas permukaan tanah, menunjukkan bahwa udara lebih hangat berada di atas udara yang lebih dingin. Pada ketinggian sekitar 1200 sampai 1500 m di atas permukaan, dan pada lapisan ini akan mengalami disperse.

2.2.4 Dampak Pencemaran NO_2

Kepadatan populasi yang tinggi di perkotaan menghasilkan peningkatan emisi di jalan raya dan penurunan kualitas udara. Transportasi, sebagai kegiatan yang sangat aktif di perkotaan, berperan besar dalam emisi NO_2 , yang merupakan polutan utama yang mempengaruhi udara ambien di perkotaan (Ross et al., 2006). NO_2 sangat reaktif dan bereaksi dengan komponen atmosfer lainnya, membentuk asam nitrat (HNO_3), yang berperan dalam pembentukan hujan asam. Hujan asam memiliki pH rendah dan sifat korosif, dapat mengikis partikel lain. Hujan asam, yang mengandung endapan asam seperti sulfur (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_x), tersebar di atmosfer. Berdasarkan tingkat keasaman pH, air hujan diklasifikasikan menjadi:

- > 7 : pH basa
- 6,1 - 7 : Air hujan sangat baik seperti air permukaan
- 5,6 - 6 : pH air hujan ideal
- 4,1 - 5,5 : Hujan asam
- 3 - 4 : Hujan asam (tinggi)
- < 3 : Hujan asam (ekstrem)

NO_2 lebih korosif pada logam dan juga salah satu jenis emisi utama yang berkontribusi pada pembentukan ozon serta menjadi komponen penting dalam asap (Srivastava, 2014). Menurut studi yang dilaporkan oleh Hoek, dkk. (2002), anak-anak yang tinggal dan berjarak 200 meter dari jalan raya dengan lalu lintas yang padat memiliki risiko lebih tinggi untuk mengembangkan asma. Studi

tersebut juga menunjukkan bahwa paparan NO_2 dalam pernapasan, terutama pada tingkat yang tinggi, dapat menghambat pertumbuhan organ paru-paru. Anak-anak yang tinggal di daerah dengan tingkat polusi udara yang tinggi cenderung mengalami penurunan laju pertumbuhan organ paru-paru dibandingkan dengan anak-anak yang tinggal di daerah dengan polusi udara yang rendah.

2.2.5 Nitrogen Dioksida dan Kendaraan Bermotor

Aktivitas yang menggunakan kendaraan bermotor akan menghasilkan gas dan partikulat yang menyebabkan pencemaran udara. Selain itu, aktivitas berintensitas tinggi juga dapat menghasilkan polusi suara seperti kebisingan dan gangguan getaran. Pencemaran udara dapat berdampak pada kesehatan manusia jika terpapar secara terus-menerus. Paparan polusi yang disebabkan oleh transportasi cenderung konstan dan kronis, terutama pada individu yang tinggal dekat dengan jalan raya dalam jangka waktu beberapa tahun, serta efek akut akibat konsentrasi polutan yang tinggi dalam waktu singkat. Dampaknya dapat langsung dirasakan oleh manusia, seperti udara yang terasa panas, sesak napas, mata merah, dan sebagainya. Situasi ini akan semakin memburuk jika tidak diimbangi dengan pengaturan dan pelebaran jalan yang memadai (Any Juliani, 2016).

Dampak utama pencemaran yang disebabkan oleh transportasi adalah hasil dari kendaraan bermotor di jalan raya. Kendaraan bermotor adalah sumber emisi udara, termasuk gas CO , NO_x , hidrokarbon, dan tetraetil timah. Tetraetil timah merupakan bahan logam yang ditambahkan ke bensin rendah kualitasnya untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah mesin dari terjadinya ledakan.

Emisi yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan bermotor mencakup berbagai polutan udara seperti karbon monoksida (CO), partikel halus, nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), timbal (Pb), dan sulfur oksida (SO_x). Pada kendaraan berbahan bakar bensin, komposisi gas buangnya terutama terdiri dari 72% nitrogen (N_2), 18,1% karbon dioksida (CO_2), dan 8,2% uap air (H_2O), disertai dengan sejumlah kecil gas argon (1,2%) dan oksigen (1,1%). Meskipun hanya menyumbang sekitar 1,1% dari total volume gas buang, komponen beracun seperti NO_x (0,13%), hidrokarbon (0,09%), dan CO (0,9%) memiliki dampak signifikan terhadap pencemaran udara. Walaupun persentasenya relatif kecil, konsentrasi polutan-polutan ini cukup untuk menimbulkan efek negatif bagi kualitas udara dan kesehatan manusia (Riviwanto & Sani, 2017).

2.3 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini perlu adanya perbandingan dengan penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan mengenai pemantauan udara. Penelitian udara ambien di Universitas Jambi dengan emisi NO₂ harus didasarkan pada penelitian terdahulu. Adapun rangkuman penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada **tabel 2** berikut :

Tabel 2. Penelitian terdahulu

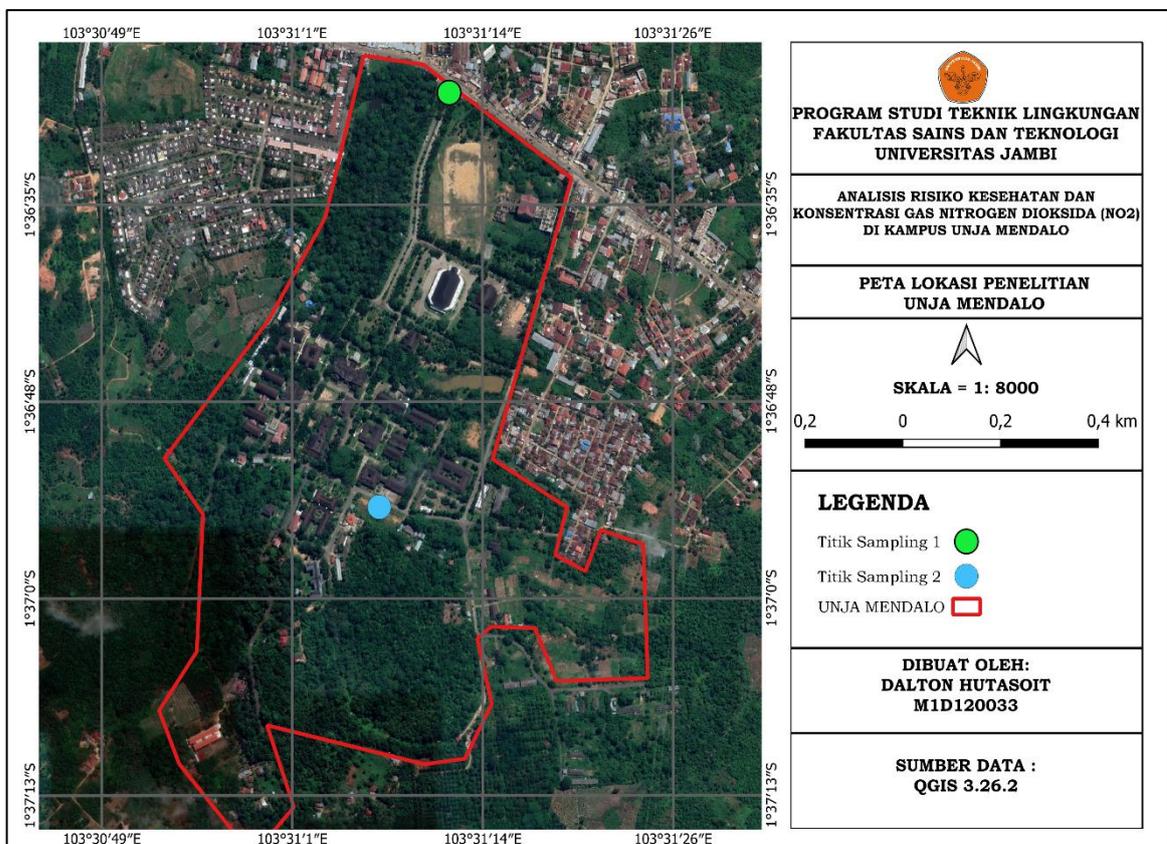
No.	Nama	Tahun	Judul	Hasil
1	Tetris Farikah, Sri Seprianto Maddusa, Oksfriani Jufri Sumampouw	2018	Analisis Kadar Nitrogen Dioksida (NO ₂) di Area Parkir Basement Jumbo Swalayan Kota Manado	Pada setiap lokasi, konsentrasi NO ₂ diukur menggunakan alat Impinger dengan metode Griess-Saltzman sesuai dengan standar SNI 19-7119.2.2005, kemudian diperiksa menggunakan spektrofotometri. Selain itu, kondisi suhu dan kelembaban diukur menggunakan termohigrometer data logger, sedangkan kecepatan angin diukur menggunakan anemometer. Konsentrasi NO ₂ terendah tercatat sebesar 21,10 µg/Nm ³ pada minggu kedua, sementara konsentrasi tertinggi mencapai 134,04 µg/Nm ³
2	Male,Y.T, Bandjar.A, Gaspersz.N, Fretes.Y, Wattimury. JJ	2021	Analisis Tingkat Pencemaran Gas CO, NO ₂ , dan SO ₂ pada Desa Batu	Penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi gas NO ₂ dan SO ₂ masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, sementara tingkat pencemaran gas CO telah melampaui standar

No.	Nama	Tahun	Judul	Hasil
			Merah Kota Ambon	yang diatur oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010.
3	Ardhaningtyas Riza U, Liayati Mahmudah	2019	Verifikasi metode Pengujian NO ₂ dan SO ₂ Dalam Udara Ambient	Pengujian metode verifikasi untuk NO ₂ dan SO ₂ di udara ambient menggunakan spektrofotometri sesuai standar SNI7119-2:2017 dan SNI 7119-7:2017 telah dilakukan di laboratorium uji Baristand Industri Surabaya. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai LOQ untuk gas NO ₂ adalah 10,54 µg/Nm ³ , sedangkan LOD-nya adalah 3,16 µg/Nm ³ dan MDL-nya adalah 3,31 µg/Nm ³ .
4	Aulia Ulfah Farahdiba, Any Juliani	2016	Analisis Pengaruh Kepadatan Lalu Lintas Terhadap Kualitas Udara Di Kawasan Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia	Penelitian ini menunjukkan bahwa ada korelasi positif antara aktivitas transportasi dan kondisi lingkungan; semakin tinggi intensitas transportasi, semakin buruk kondisi lingkungan. Meskipun demikian, kualitas lingkungan terkait dengan NO _x , kebisingan, dan getaran masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kampus Universitas Jambi Mendalo yang berada di Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi. Lokasi pengambilan sampling akan dilakukan pada 2 titik yang berada di dalam area kampus UNJA Mendalo. Kedua titik pengambilan sampling tersebut dapat mewakili area kampus, penentuan titik sampling ini mengacu pada metode yang digunakan yaitu metode *Griess Saltmanz* untuk pengambilan sampel NO_2 (SNI No. 19-7119.2.2017) dan (SNI No. 19-7119.6.2017) mengenai penentuan lokasi pengambilan contoh uji pemantauan kualitas udara ambien.



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel

Sumber : (QGIS, 2025)

Lokasi pengambilan sampel berada di Universitas Jambi dapat dilihat pada gambar 3. Dalam penelitian ini titik sampling ditentukan dengan banyaknya jumlah kendaraan yang parkir atau area yang paling sering di lewati oleh kendaraan bermotor. Hal ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kendaraan dan hubungan emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan tersebut dengan kadar gas NO_2 yang berada di udara ambien.

Lokasi titik sampling yang akan digunakan ada 2 titik sampling yang berada di Universitas Jambi kampus pinang masak dapat dilihat tabel 3. berikut:

Tabel 3. Lokasi titik sampling

No.	Lokasi	Kordinat
1	titik sampling 1, Gerbang UNJA Mendalo	1°36'28.0"S 103°31'11.5"E
2	titik sampling 2, Parkiran Laboratorium FKIP	1°36'54.1"S 103°31'07.0"E

Sumber : Google Earth, 2024

Pemilihan gerbang kampus sebagai lokasi sampling didasarkan pada berbagai pertimbangan. Pertama, lokasi ini merupakan zona interaksi intensif dimana populasi kampus (mahasiswa, dosen, dan staf) terpapar polutan secara rutin, sehingga data yang diperoleh dapat merefleksikan risiko kesehatan aktual. Kedua, gerbang kampus berfungsi sebagai interface antara lingkungan internal kampus yang relatif terkontrol dengan ekosistem eksternal yang lebih dinamis, memungkinkan kajian tentang transfer polutan dari wilayah urban ke area pendidikan.

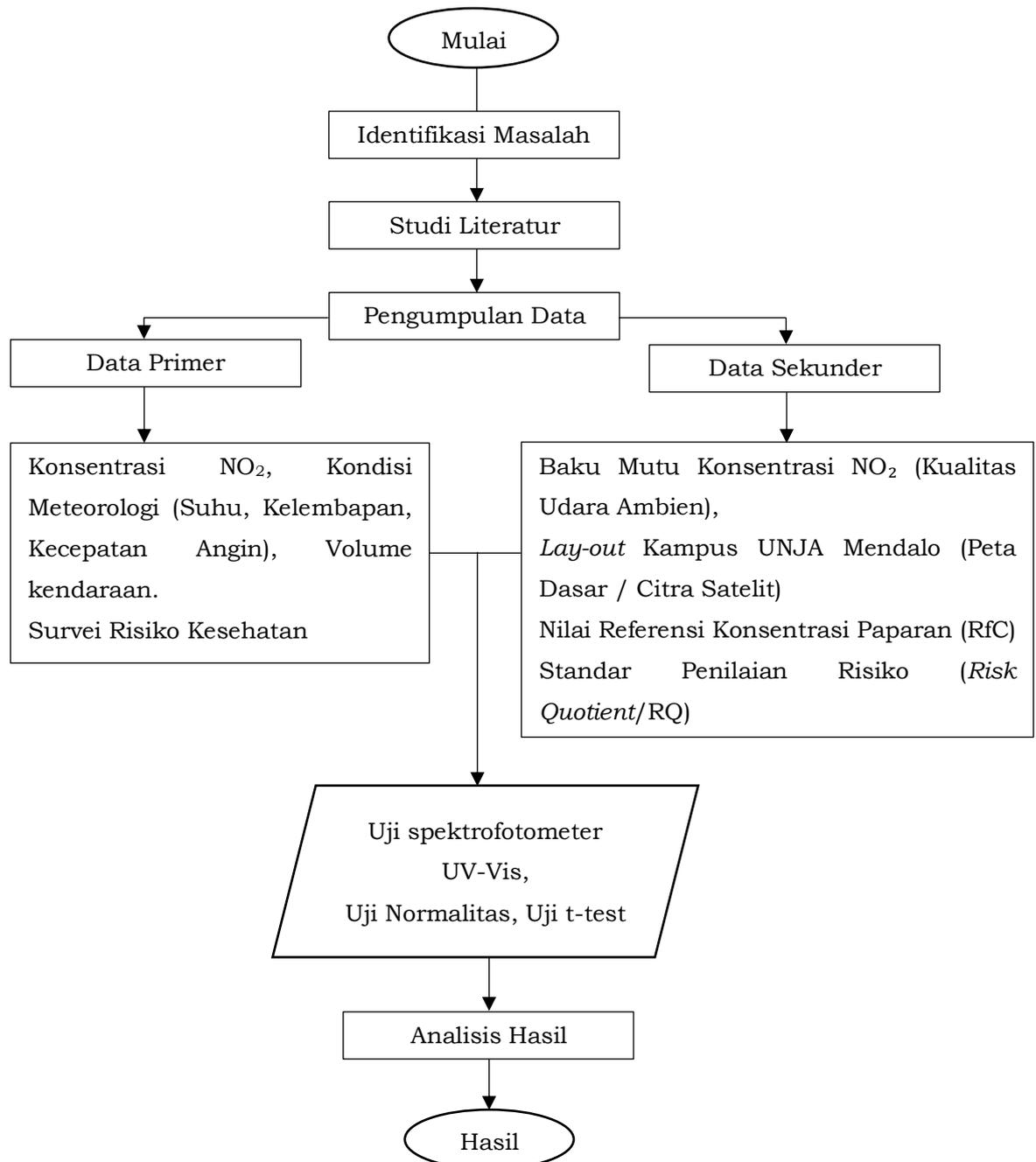
Dari sisi metodologis, lokasi ini menawarkan kondisi pengukuran yang ideal dengan pola lalu lintas yang terprediksi (seperti fluktuasi harian sesuai jadwal perkuliahan) dan minimnya hambatan fisik yang dapat mempengaruhi dispersi udara. Pemilihan lokasi parkir yang padat kendaraan bermotor sebagai titik sampling didasarkan pada beberapa pertimbangan penting. Pertama, area parkir yang ramai kendaraan merupakan sumber emisi NO₂ yang signifikan, terutama dari kendaraan dengan mesin menyala saat parkir atau bergerak lambat mencari tempat parkir. Kedua, lokasi ini merepresentasikan paparan nyata bagi pengguna parkir yang sering menghabiskan waktu cukup lama di area tersebut, sehingga penting untuk menilai risiko kesehatan yang mungkin timbul. Dari sisi karakteristik emisi, area parkir memiliki pola yang unik dimana konsentrasi polutan cenderung lebih tinggi akibat akumulasi emisi dari kendaraan yang bergerak lambat atau berhenti dengan mesin tetap hidup. Selain itu, fluktuasi aktivitas parkir yang mengikuti jadwal perkuliahan memungkinkan pengamatan variasi konsentrasi polutan secara temporal. Data dari lokasi ini juga dapat memberikan gambaran tentang efektivitas kebijakan pengelolaan parkir dalam mengurangi paparan polutan.

Penelitian dilakukan pada pukul 08-00-09.00 WIB dan pukul 12.00-13.00 pada hari Selasa dan Rabu tanggal 29-30 Oktober 2024 dan tanggal 5-6 November 2024. Pengamatan yang dilakukan dengan alat impinger dengan parameter Gas Nitrogen Dioksida NO₂ volume kendaraan dan kondisi meteorologi

yang meliputi suhu, kecepatan angin dan arah angin. Kondisi cuaca pada saat melakukan penelitian pada hari Selasa dan Rabu tanggal 29 dan 30 Oktober 2024 sangat cerah tetapi mendung pada hari Selasa dan Rabu tanggal 5 dan 6 November 2024.

3.2 Skema dan Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan berdasarkan alur kerja yang ditunjukkan pada diagram alir pada gambar 3. berikut:



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Pelaksanaan penelitian diawali dengan pengumpulan data. Pada penelitian ini data yang digunakan bersumber dari dua komponen, yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh langsung di lapangan yang dilakukan oleh peneliti. Pada penelitian ini yang termasuk data primer adalah konsentrasi NO₂, kondisi meteorologi dan pengukuran seperti suhu, arah angin, kecepatan angin, kelembapan udara, dan jumlah kendaraan bermotor di titik lokasi sampling. Dalam penelitian ini alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada **tabel 4.** sebagai berikut:

Tabel 4. Alat dan Bahan

No.	Nama Alat	No.	Nama Bahan
1	Impinger	13	Aseton
2	Spektrofotometri	14	Air suling bebas nitrit
3	Botol <i>pyrex</i> berwarna gelap		
4	<i>Cool box</i>	15	Larutan induk N-(1-naftil)-etilendiamin dihidroklorida
5	Gelas piala		
6	Labu ukur	16	Larutan penjerap Griess Saltzman
7	buret mikro		
8	<i>Pocket weatherherman</i>	17	Larutan asam asetat pekat
9	Anemometer		
10	Kompas	18	Larutan induk nitrit
11	<i>Traffic counter</i>		
12	Desikator	19	Larutan standar nitrit

3.2.1 Pengambilan sampel

Pengambilan sampel gas NO₂ berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7119-2-2017. Langkah-langkah prosedur pengambilan contoh uji:

1. Mempersiapkan peralatan pengambilan contoh uji sesuai dengan posisi dan lokasi pengukuran yang ditetapkan sesuai dengan SNI 19-7119-6-2017.
2. Tambahkan larutan penjerap Griess-Saltzman sebanyak 10 mL ke dalam botol penjerap, pastikan botol penjerap terlindung dari hujan dan sinar matahari langsung.
3. Aktifkan pompa penghisap udara dan atur kecepatan alirnya menjadi 0,4 L/menit. Setelah stabil, catat laju aliran awal dan pantau laju aliran udara setidaknya setiap 15 menit.

4. Pengambilan contoh uji dilakukan selama 1 jam dan catat suhu serta tekanan udara.
5. Setelah 1 jam, matikan pompa penghisap,tepatkan volume larutan yang berada di botol penjerap sampai volume tertentu (V_1)

Pengujian contoh uji

1. Contoh uji dimasukkan ke dalam kuvet spektrofotometer, lalu diukur intensitas warna merah muda yang terbentuk pada panjang gelombang 550 nm.
2. Nilai absorbansi contoh uji dibaca, kemudian konsentrasi dihitung menggunakan kurva kalibrasi.
3. Langkah-langkah 1 dan 2 diulangi untuk larutan penjerap yang digunakan sebagai larutan blanko.

3.2.2 Konsentrasi NO_2 dalam larutan standar

Jumlah NO_2 (μg) dalam 1 mL larutan standar yang digunakan dapat dihitung menggunakan formula berikut:

$$\text{Persamaan 1. } \text{NO}_2 = \frac{a}{100} \times \frac{46}{69} \times \frac{1}{f} \times \frac{10}{1000} \times 10^6$$

Keterangan:

NO_2 = konsentrasi NO_2 dalam larutan standar NaNO_2 ($\mu\text{g}/\text{mL}$)

a = berat molekul NaNO_2 (g).

46 = berat molekul NO_2

69 = berat molekul NaNO_2

F = faktor yang menunjukkan jumlah mol NaNO_2 yang menghasilkan warna yang sama dengan 1 mol NO_2 (nilai f = 0,82)

10/1000 = faktor pengenceran larutan induk NaNO_2

10^6 = konversi dari gram ke μg .

3.2.3 Volume Uji

Rumus yang digunakan untuk menghitung volume udara, diambil pada kondisi normal (25°C , 760 mmHg), sesuai dengan ketentuan yang disebutkan dalam standar SNI 7119-2-2017:

$$\text{Persamaan 2. } V = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760}$$

Keterangan:

V = volume udara, diambil pada kondisi normal 25°C ,
760 mmHg(Nm³)

- Q_i = pencatatan laju alir ke - i (Nm³/menit)
 t = durasi pengambilan contoh uji (menit)
 n = adalah jumlah pencatatan laju alir
 T_a = temperatur rata-rata (K)
 P_a = tekanan udara rata-rata (mmHg)
 298 = merupakan konversi temperatur pada kondisi normal (25 °C) ke dalam Kelvin (K)
 760 = tekanan udara standar (mmHg)

3.2.4 Konsentrasi NO₂ di udara ambien

Konsentrasi NO₂ dalam udara ambien dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

Persamaan 3.

$$NO_2 = \frac{\{(Y - 0.0099)/0,7622\} \times Vol. Lar. Akhir (L) \times Suhu(K) \times 760 \text{ mmHg} \times Brt \text{ mol. (gr/mol)} \times 10^6}{Laju Aliran \left(\frac{L}{Menit}\right) \times Waktu Sampling (60 \text{ menit}) \times P(\text{mmHg}) \times 298K \times 24,45 \left(\frac{L}{mol}\right)}$$

Keterangan:

Y : Absorbansi sampel (tanpa satuan), Diukur pada λ 550 nm (metode Griess-Saltzman)

0.0099 : Intersep kurva kalibrasi

0.7622 : Slope kurva kalibrasi ($\mu\text{g}^{-1} \cdot \text{m}^3$)

$V_{Lar \text{ akhir}}$: Volume larutan akhir (L) setelah sampling.

T : Suhu saat sampling (K), Konversi: °C → K = °C + 273.15

Contoh : 25°C = 298.15 K

760 : Tekanan atmosfer standar (mmHg)

BM : Berat molekul NO₂ (46 g/mol)

10⁶ : Faktor konversi g → μg

Laju Alir : Debit sampler (L/menit)

T : Waktu sampling (menit)

P : Tekanan saat sampling (mmHg)

298 : Suhu referensi (K)

24.45 : Volume molar gas pada 298 K (L/mol)

Standar kualitas yang diterapkan mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Selama proses pengambilan sampel, penting untuk mencatat waktu pengambilan, suhu, kelembapan udara, kecepatan angin, tekanan atmosfer, dan jumlah kendaraan untuk membantu dalam analisis data yang diperoleh.

3.2.5 Pengukuran Suhu, Kelembapan dan Kecepatan Angin

Cara menggunakan alat anemometer sebagai berikut:

1. Hidupkan anemometer dengan menekan tombol power.
2. Tekan tombol unit yang digunakan untuk memilih pengukuran yang akan digunakan.
3. Gunakan tombol tahan untuk menghentikan hasil pengukuran.
4. Suhu yang akan digunakan untuk menghitung kecepatan angin ditampilkan dengan tombol OC/F.
5. Tombol kecepatan angin diberi label max, min, dan AVG. Tombol max menunjukkan kecepatan angin maksimum, tombol min menunjukkan kecepatan angin terendah dan tombol AVG menunjukkan kecepatan angin rata-rata.

3.2.6 Pengukuran Kepadatan Lalu Lintas

Pengukuran jumlah kendaraan dapat di peroleh dengan cara melakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Pilih titik penghitungan.
2. Setiap mobil yang lewat diperhitungkan untuk perhitungan (dua arah).
3. Selama 1 jam catat hasil perhitungannya setiap 5 menit dan catat pada lembar observasi.

Data sekunder diperoleh dari studi literatur, jurnal, dan buku yang menjadi acuan dalam penyusunan laporan. Sementara itu, standar nasional Indonesia (SNI) dan peraturan pemerintah menjadi pedoman selama proses pengambilan sampel serta untuk menetapkan batas baku mutu lingkungan. Batas baku mutu tersebut digunakan untuk menilai nilai ambang batas yang diperbolehkan dalam lingkungan dan membandingkan data sampel yang diperoleh di lapangan.

3.3 Analisis Data

Analisis data ini bertujuan untuk menjelaskan korelasi antara variabel yang diteliti. Metode penelitian yang diterapkan adalah metode deskriptif kuantitatif dan statistik parametrik. Data yang dianalisis berasal dari pemantauan gas NO₂ di udara ambien. Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi nilai serta distribusi dari masing-masing sampel yang diteliti. Setelah itu, dilakukan pengukuran terhadap konsentrasi gas NO₂ di udara ambien serta variabel lain seperti suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin, serta volume kendaraan.

Analisis data menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk menguji normalitas distribusi data, dipilih karena keakuratannya pada sampel kecil ($n < 50$). Jika data normal, dilanjutkan dengan uji independent samples t-test untuk membandingkan rata-rata konsentrasi NO₂ antar lokasi. Uji korelasi Pearson digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara volume kendaraan dan NO₂. Interpretasi hasil didasarkan pada nilai p-value ($\alpha = 0,05$) dan *effect size* (koefisien korelasi atau selisih rata-rata).

Selanjutnya dilakukan perbandingan antara kadar gas NO₂ dengan baku mutu PP Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, jumlah kendaraan, kondisi meteorologi dan periode waktu pengukuran. Analisis hasil tersebut bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan jumlah kendaraan dan kondisi meteorologi terhadap konsentrasi NO₂ yang berada di Kampus UNJA Mendalo.

Pencemaran udara saat ini mengakibatkan risiko kesehatan dan untuk mengevaluasi risiko ini, salah satu pendekatan yang digunakan adalah Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Karakterisasi risiko kesehatan pada populasi yang rentan diungkapkan secara kuantitatif dengan menggabungkan analisis respons dosis dan analisis paparan. Nilai numerik digunakan untuk memperkirakan risiko kesehatan, yang kemudian dimanfaatkan untuk merancang strategi manajemen risiko guna mengontrol risiko tersebut. Pilihan manajemen risiko ini kemudian disampaikan kepada pihak-pihak terkait untuk meningkatkan kesadaran akan risiko potensial dan mengambil cara pencegahan yang sesuai (Rumselly, 2016).

Analisis paparan atau penilaian eksposur, yang juga dikenal sebagai penilaian kontak bertujuan untuk mengidentifikasi cara-cara individu terpapar oleh agen risiko, sehingga jumlah yang diterima oleh individu dalam populasi yang rentan bisa diperkirakan. Data dan informasi yang diperlukan untuk menghitung paparan mencakup semua variabel yang tercantum dalam persamaan 4 (Mallongi, 2023) sebagai berikut:

Persamaan 4.
$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan :

- I = Asupan (intake), mg/kg/hari
- R = laju asupan atau konsumsi, M3/jam untuk inhalasi, L/hari untuk air minum, g/hari untuk makanan
- C = konsentrasi *risk agent*, mg/M3 untuk medium udara, mg/L untuk air minum, mg/kg untuk makanan.
- t_E = waktu pajanan.

- f_E = frekwensi pajanan.
- D_t = durasi pajanan, tahun (real time atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai default resi- densial).
- t_{avg} = Periode waktu rata-rata ($D_t \times 365$) hari/tahun untuk zat non karsinogen, 70 tahun \times 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)
- W_b = Berat badan, kg.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Konsentrasi Gas NO₂ Berdasarkan Faktor Meteorologi dan Volume Kendaraan di Kampus UNJA Mendalo

Fenomena penurunan kualitas udara di area universitas kini menjadi perhatian serius, dipicu oleh aktivitas akademik yang kian padat dan lonjakan volume kendaraan. NO₂ merupakan salah satu polutan utama yang berasal dari asap kendaraan, menimbulkan kekhawatiran serius mengingat efek negatifnya bagi kesehatan dan ekosistem. Penelitian ini difokuskan pada pengukuran kadar gas NO₂ di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo dengan memperhitungkan kondisi cuaca (meliputi temperatur, tingkat kelembapan, kecepatan angin, dan intensitas hujan) serta volume kendaraan. Teknik pengambilan sampel menggunakan impinger dilanjutkan dengan uji laboratorium memakai metode Griess-Saltzman guna menjamin ketepatan data. Hasil dari penelitian ini dapat membantu dalam merumuskan regulasi pengendalian polusi udara kampus, terutama terkait pengaturan emisi kendaraan dan upaya penurunan tingkat pencemaran.

4.1.1 Pengambilan Sampel dan Analisis Laboratorium Konsentrasi NO₂

Pengukuran konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) di lapangan dapat dilakukan menggunakan metode Griess-Saltzman, sebuah teknik kolorimetri yang banyak digunakan karena memberikan hasil akurat dengan peralatan relatif sederhana. Prinsip kerjanya didasarkan pada reaksi antara NO₂ dalam udara dengan larutan pereaksi Griess-Saltzman, yang mengandung sulfanilamida dan N-(1-naftil) etilendiamina dihidroklorida (NEDA) dalam medium asam. Reaksi ini menghasilkan senyawa azo berwarna merah muda, yang intensitas warnanya sebanding dengan konsentrasi NO₂ yang terperap.

Dalam pelaksanaannya, sampel udara diambil menggunakan impinger atau bubbler yang berisi larutan pereaksi Griess-Saltzman, kemudian dialirkan dengan laju tertentu menggunakan pompa vakum. Setelah proses pengambilan sampel selesai, larutan dianalisis menggunakan spektrofotometer dengan gelombang 550 nm untuk mengukur absorbansi. Konsentrasi NO₂ selanjutnya dihitung berdasarkan kurva kalibrasi yang telah dibuat menggunakan larutan standar natrium nitrit (NaNO₂).

4.1.1.1 Konsentrasi NO₂ dalam Larutan Standar

Dalam penelitian ini larutan standar NO₂ dibuat dari pengenceran stok (NaNO₂) konsentrasi NO₂ dalam larutan dapat dihitung melalui pendekatan stoikiometri dan pengenceran. Dalam metode spektrofotometri Griess-Saltzman,

pengukuran konsentrasi NO_2 dalam larutan standar dilakukan dengan mengkonversi ion nitrit (NO_2^-) menjadi senyawa berwarna yang dapat diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer. Proses ini dimulai dengan pembuatan larutan standar natrium nitrit (NaNO_2) dengan konsentrasi yang telah diketahui, misalnya dalam rentang 0,1–1,0 ppm. Larutan standar kemudian direaksikan dengan reagen Griess-Saltzman, yang umumnya mengandung sulfanilamida dan N-(1-naphthyl)ethylenediamine dihydrochloride (NEDA) dalam suasana asam. Reaksi ini menghasilkan senyawa azo berwarna merah muda yang memiliki absorbansi maksimum pada panjang gelombang sekitar 540–550 nm.

Jumlah NO_2 (μg) dalam 1 mL larutan standar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Persamaan 1. } \text{NO}_2 &= \frac{0,245}{100} \times \frac{46}{69} \times \frac{1}{f} \times \frac{10}{1000} \times 10^6 \\ &= \frac{0,245 \times 46 \times 10^7}{100 \times 69 \times 0,82 \times 1000 \times 10^6} \\ &= \frac{112,7}{56,58} \\ \text{NO}_2 &= 19,92 \mu\text{g/mL} \end{aligned}$$

Tabel 5. Konsentrasi NO_2 dalam Larutan Standar

Titik Sampling	Hari dan Tanggal	Jam (WIB)	Konsentrasi NO_2 ($\mu\text{g/mL}$)
1. Gerbang Utama, Kampus UNJA Mendalo	Selasa, 29 Oktober 2024	08.00 – 09.00	19,92
		12.00 – 13.00	20
	Rabu, 30 Oktober 2024	08.00 – 09.00	19,92
		12.00 – 13.00	20
2. Parkiran Laboratorium FKIP UNJA Mendalo	Selasa, 05 November 2024	08.00 – 09.00	20
		12.00 – 13.00	20,08
	Rabu, 06 November 2024	08.00 – 09.00	20
		12.00 – 13.00	20

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa konsentrasi rata-rata NO_2 dalam larutan standar adalah sebesar 20 $\mu\text{g/mL}$. Jika massa NaNO_2 yang ditimbang untuk pembuatan larutan induk adalah tepat 0,246 gram dan proses pembuatannya mengikuti prosedur larutan induk nitrit, maka setiap 1 mL larutan standar NaNO_2 setara dengan 20 $\mu\text{g/mL}$ NO_2 . Hasil dalam larutan standar berhubungan langsung dengan hasil konsentrasi NO_2 di udara ambien karena

larutan standar digunakan sebagai dasar untuk menghitung kadar NO₂ yang tertangkap dari udara. Dalam proses analisis, udara ambien dilewatkan melalui larutan penangkap (absorpsi), sehingga NO₂ larut dan membentuk senyawa yang dapat diukur konsentrasinya. Nilai konsentrasi yang diperoleh dari larutan ini kemudian dibandingkan atau dihitung menggunakan kurva kalibrasi yang berasal dari larutan standar. Dengan demikian, keakuratan konsentrasi NO₂ di udara ambien sangat bergantung pada keakuratan dan ketelitian pembuatan serta pengukuran larutan standar.

4.1.1.2 Volume Udara Sampel

Penggunaan impinger dalam pengukuran kualitas udara mengharuskan volume udara sampel dikonversi ke kondisi standar (25°C dan tekanan 1 atm) untuk menjamin keandalan hasil pengukuran. Konversi ini diperlukan karena volume udara sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti temperatur, tekanan atmosfer, dan tingkat kelembaban selama proses sampling. Dengan menyesuaikan volume udara ke kondisi normal, variasi pengukuran akibat faktor-faktor tersebut dapat dinormalisasi sehingga data yang diperoleh menjadi lebih konsisten dan dapat dibandingkan secara valid dengan standar baku mutu udara maupun hasil pengukuran lain. Proses standarisasi ini juga memastikan bahwa konsentrasi polutan seperti NO₂ yang dihitung benar-benar merepresentasikan kandungan polutan per satuan volume udara dalam kondisi terkontrol, bukan kondisi aktual di lapangan yang fluktuatif. Aspek ini menjadi fundamental dalam kegiatan pemantauan kualitas udara, penyusunan laporan lingkungan hidup, serta pemenuhan persyaratan peraturan yang mewajibkan penyajian data dalam kondisi standar.

Rumus yang digunakan untuk menghitung volume udara diambil pada kondisi normal (25°C, 760 mmHg), sesuai dengan ketentuan yang disebutkan dalam standar SNI 7119-2-2017. Volume udara uji dapat dihitung menggunakan persamaan 2 dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \times t \times \frac{Pa}{Ta} \times \frac{298}{760}$$

$$V = \frac{(0,4+0,4)l/menit}{2} \times 60 \text{ menit} \times \frac{754,3 \text{ mmHg}}{305,15 \text{ K}} \times \frac{298 \text{ K}}{760 \text{ mmHg}}$$

$$V = 23,262 \text{ Nm}^3$$

Hasil pengukuran volume udara sampel pada dua titik sampling saat penelitian dapat dilihat dalam tabel 6.

Tabel 6. Volume Udara Sampel

Titik Sampling	Hari dan Tanggal	Waktu Sampling (menit)	Suhu Sampling (K)	Tekanan udara (mmHg)	Volume udara (Nm ³)
1. Gerbang Utama UNJA Mendalo	Selasa, 29 Oktober 2024	60	305,15	754,3	23,262
		60	313,15	754,3	22,668
	Rabu, 30 Oktober 2024	60	308,15	758,1	23,151
		60	306,85	758,2	23,253
2. Parkiran Lab. FKIP UNJA Mendalo	Selasa 5 November 2024	60	311,15	759	22,295
		60	310,15	759,1	23,033
	Rabu, 6 November 2024	60	306,65	759,6	23,311
		60	306,45	759,4	23,320

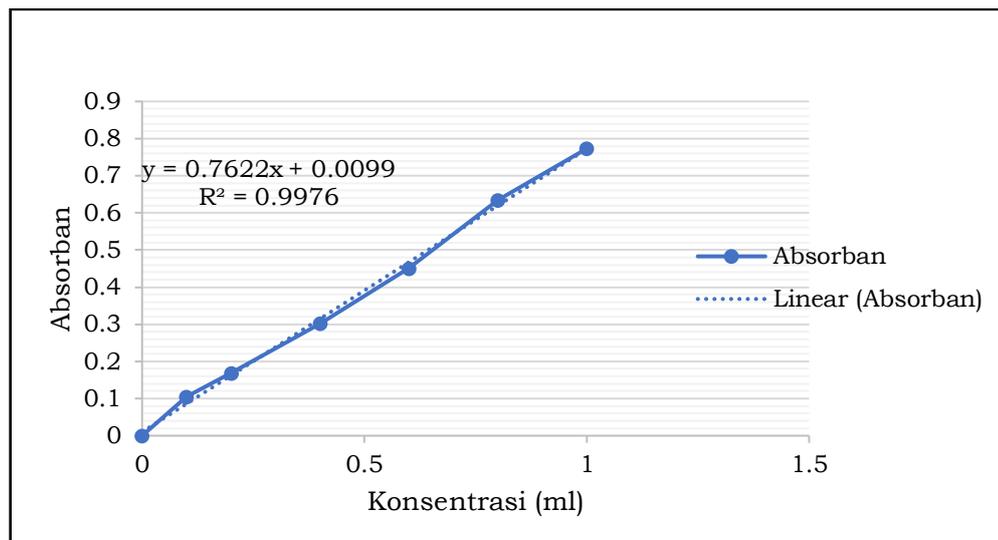
Berdasarkan **tabel 6** dapat dilihat suhu dan tekanan udara berpengaruh pada volume udara yang diambil pada saat pengujian dengan alat impinger. Hal ini juga sesuai dengan Hukum Charles yang menyatakan bahwa volume gas akan berbanding lurus dengan suhu (dalam skala Celsius atau Kelvin), asalkan tekanan gas tersebut dijaga konstan. Ketika suhu meningkat maka volume udara juga meningkat hal ini berbanding terbalik pada saat pengambilan sampel uji dimana ketika suhu meningkat dengan tekanan udara tetap maka volume udara yang diambil akan semakin sedikit karena molekul molekul udara dapat bergerak lebih bebas pada suhu yang lebih tinggi, sehingga akan menabrak dinding wadah lebih sering dan lebih kuat.

4.1.1.3 Pengukuran Absorbansi Larutan Sampel NO₂

Pada Tabel 7. Pengujian absorbansi larutan standar dilakukan menggunakan spektrofotometer, dengan pengukuran berdasarkan intensitas warna merah muda yang terbentuk pada gelombang 550 nm.

Tabel 7. Nilai absorbansi larutan standar NO₂

Konsentrasi (ml)	Absorban
0	0
0.1	0.105
0.2	0.168
0.4	0.302
0.6	0.450
0.8	0.634
1	0.773



Gambar 4. Kurva kalibrasi Larutan Standar NO₂

Berdasarkan gambar 4. dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan standar maka semakin tinggi juga nilai absorban NO₂ yang diuji menggunakan spektrofotometer. Nilai koefisien korelasi (r) yang diperoleh harus $\geq 0,997$, atau setidaknya sesuai dengan batas kemampuan laboratorium yang bersangkutan. Selain itu, nilai intersep yang dihasilkan harus lebih kecil atau sama dengan batas deteksi yang telah ditetapkan.

Pengukuran gas NO₂ dengan impinger melibatkan serangkaian tahapan kritis untuk memastikan akurasi data. Pertama, larutan penyerap (larutan Griess-Saltzman yang mengandung sulfanilamide dan NED dalam asam) dimasukkan ke dalam impinger dengan volume 10 mL. Kedua, udara sampel dihisap melalui impinger menggunakan pompa vakum dengan laju aliran terkontrol 0.5L/menit selama 1 jam sehingga NO₂ bereaksi dengan larutan membentuk senyawa nitrit (NO₂⁻). Ketiga, setelah sampling, larutan diambil dan direaksikan dengan reagen Griess untuk membentuk senyawa azo berwarna merah muda, yang diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada λ 540-550 nm.

4.1.1.4 Konsentrasi Gas NO₂ dalam Udara Ambien

Pemantauan konsentrasi gas NO₂ dalam udara ambien merupakan aspek penting dalam penelitian kualitas udara karena beberapa alasan mendasar. Pertama, NO₂ merupakan indikator kunci pencemaran udara yang terutama dihasilkan dari aktivitas antropogenik seperti emisi kendaraan bermotor dan industri. Kedua, sebagai polutan kritis, NO₂ memiliki dampak merugikan bagi kesehatan manusia, termasuk iritasi saluran pernapasan, peningkatan risiko penyakit pernapasan kronis, dan penurunan fungsi paru-paru, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia. Ketiga, dari perspektif

lingkungan, NO₂ berperan dalam pembentukan hujan asam dan kabut fotokimia, serta berkontribusi terhadap perubahan iklim melalui mekanisme tertentu.

Data konsentrasi NO₂ udara ambien juga penting untuk evaluasi kepatuhan terhadap baku mutu udara, perencanaan tata ruang, dan penyusunan kebijakan pengendalian pencemaran udara yang berbasis bukti ilmiah. Dalam konteks penelitian ini, pemahaman tentang tingkat NO₂ di lingkungan kampus khususnya dapat menginformasikan strategi pengelolaan lalu lintas dan ruang terbuka hijau untuk menciptakan lingkungan kampus yang lebih sehat. Kadar NO₂ dalam udara ambien dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

Persamaan 3.

$$NO_2 = \frac{\{(Y - 0.0099)/0,7622\} \times Vol. Lar. Akhir (L) \times Suhu(K) \times 760 mmHg \times Brt mol. (gr/mol) \times 10^6}{Laju Aliran \left(\frac{L}{Menit}\right) \times Waktu Sampling (60 menit) \times P(mmHg) \times 298K \times 24,45\left(\frac{L}{mol}\right)}$$

$$Konsentrasi NO_2 = \frac{\left(\frac{0,041 - 0,0099}{0,762 \mu g^{-1}} \cdot m^3\right) \cdot 0,01L \cdot 305,65 K \cdot 760 mmHg \cdot 46g/mol \cdot 10^6}{\left(0,4 \frac{L}{m} \cdot 60 \text{ menit} \cdot 758,1 mmHg \cdot 298 K \cdot 24,45 \frac{L}{mol}\right)}$$

Konsentrasi NO₂ = 32, 88 µg/Nm³

Dalam persamaan tersebut dapat diketahui bahwa pada tanggal 29 oktober pada pukul 08.00-09.00 WIB konsentrasi NO₂ sebesar 32,9 µg/Nm³. Dengan menggunakan persamaan 4. diatas maka dapat dilihat hasil dari konsentrasi gas NO₂ di udara ambien terdapat dalam tabel 8 berikut.

Tabel 8. Konsentrasi NO₂ dalam Udara Ambien

Titik	Hari/tanggal	Jam	[NO ₂]	Baku Mutu
Sampling		(WIB)	µg/Nm ³	µg/Nm ³
1. Gerbang Utama UNJA Mendalo	Selasa 29/10/2024	08.00 – 09.00	32,88	200
		13.00 – 14.00	30,77	
	Rabu 30/10/2024	08.00 – 09.00	52,98	
		13.00 – 14.00	23,37	
2. Parkiran Lab. FKIP UNJA Mendalo	Selasa 05/11/2024	08.00 – 09.00	74,13	
		13.00 – 14.00	116,43	
	Rabu 06/11/2024	08.00 – 09.00	158,73	
		13.00 – 14.00	84,70	

Berdasarkan data pada Tabel 8, terlihat perbedaan signifikan dalam konsentrasi NO₂ antara dua lokasi sampling di Kampus UNJA Mendalo. Titik Sampling 1 di Gerbang Utama menunjukkan konsentrasi NO₂ yang relatif rendah (23,37-52,98 µg/Nm³), sementara Titik Sampling 2 di Parkiran Laboratorium FKIP

mencatat kadar yang jauh lebih tinggi (74,13-158,73 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$), tapi belum melebihi baku mutu harian atau analisis per jam sebesar 200 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor kunci. Pertama, area parkir cenderung memiliki aktivitas kendaraan yang lebih padat dengan banyak kendaraan dalam kondisi idle, yang secara signifikan meningkatkan emisi NO_2 . Kedua, desain lingkungan parkir yang dikelilingi gedung membatasi sirkulasi udara, menyebabkan polutan terakumulasi di lokasi tersebut. Ketiga, pengukuran pada siang hari (12.00-13.00 WIB) secara konsisten menunjukkan konsentrasi lebih tinggi dibanding pagi hari, sesuai dengan puncak aktivitas kampus.

Variasi tingkat konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain volume kendaraan bermotor, kondisi meteorologi, serta karakteristik lokasi pengukuran. Konsentrasi tertinggi tercatat pada hari Rabu, 6 November 2024 pukul 08.00–09.00 WIB di Parkiran Laboratorium FKIP, yaitu sebesar 158,73 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Konsentrasi ini tergolong tinggi dan melebihi ambang batas tahunan berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Sebaliknya, konsentrasi terendah tercatat pada Rabu siang, 30 Oktober 2024 di Gerbang Utama, yaitu sebesar 23,37 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hal ini dikaitkan dengan aktivitas kendaraan yang menurun setelah jam masuk perkuliahan serta kondisi cuaca siang hari yang lebih panas dan berangin, sehingga memungkinkan pengenceran polutan lebih optimal.

4.1.3 Hubungan Faktor Meteorologi dan Volume Kendaraan dengan NO_2

Dalam penelitian ini pengukuran kondisi meteorologi menggunakan alat anemometer yang mengukur suhu, kelembapan dan kecepatan angin dengan 2 titik sampling yaitu titik lokasi sampling 1 di gerbang utama Universitas Jambi dan lokasi titik sampling 2 di lapangan parkir Laboratorium FKIP Universitas Jambi pada tanggal 29-30 oktober 2024 dan 05 -06 November 2024 pada pukul 08.00-09.00 WIB dan 12.00-13.00 WIB selama satu jam bersamaan dengan pengukuran volume kendaraan bermotor dan konsentrasi NO_2 . Hasil pengukuran faktor meteorologi dalam penelitian ini yang meliputi suhu, kelembapan dan kecepatan angin dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Kondisi Meteorologi

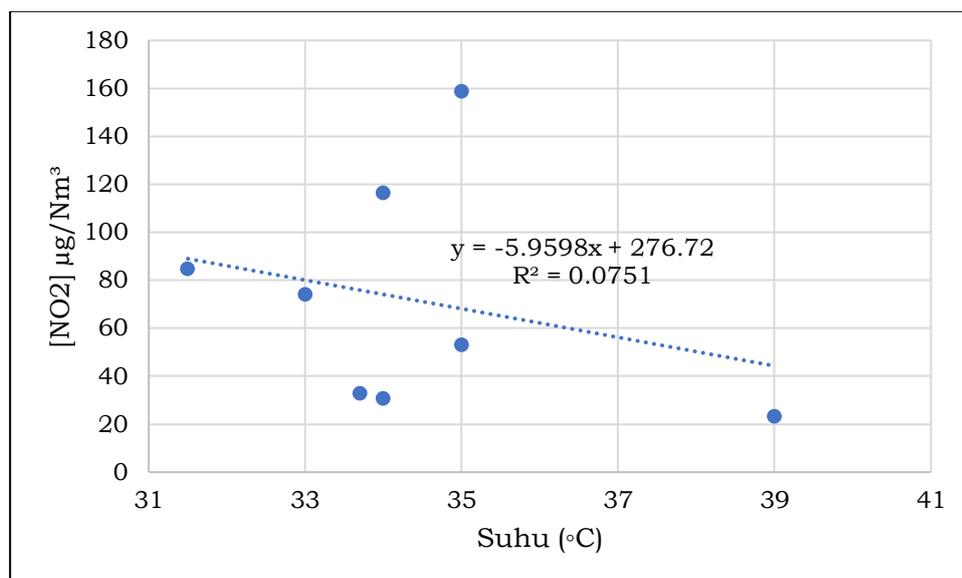
Titik Sampling	Hari/tanggal	Jam (WIB)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembapan (%RH)	Kecepatan Angin (m/s)
1. Gerbang Utama	Selasa 29/10/2024	08.00 – 09.00	33,7	52,3	1.16
		12.00 – 13.00	34	50	1.3

Titik Sampling	Hari/tanggal	Jam (WIB)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kecepatan Angin (m/s)
UNJA Mendalo	Rabu 30/10/2024	08.00 – 09.00	35	45	1.2
		12.00 – 13.00	39	38,18	1.25
2. Parkiran Lab. FKIP UNJA Mendalo	Selasa 05/11/2024	08.00 – 09.00	33	53,5	1.1
		12.00 – 13.00	34	61,33	1.3
	Rabu 06/11/2024	08.00 – 09.00	35	52,48	1.45
		12.00 – 13.00	31,5	60	1.5

4.1.3.1 Hubungan Suhu dan NO₂ di Kampus UNJA Mendalo

Suhu merupakan salah satu faktor kondisi meteorologi yang penting karena memengaruhi konsentrasi polutan udara, terutama melalui mekanisme dispersi udara, reaksi kimia, dan emisi polutan. Pemantauan dan pemodelan kualitas udara harus mempertimbangkan variabilitas suhu untuk prediksi dan manajemen yang lebih akurat (Bauerová et al., 2020). Suhu udara memiliki hubungan yang sebanding dengan konsentrasi pencemar udara, di mana peningkatan suhu cenderung disertai dengan meningkatnya konsentrasi pencemar dalam udara ambien (Agustini et al., 2019), Tetapi terjadi penurunan konsentrasi NO₂ pada suhu tinggi karena suhu tinggi cenderung mengurangi konsentrasi NO₂ karena peningkatan dispersi udara dan reaksi kimia yang lebih cepat. Dekomposisi NO₂ (Nitrogen Dioksida) lebih cepat terjadi pada suhu tinggi karena adanya peningkatan energi kinetik molekul dan intensitas sinar matahari (Bauerová et al., 2020).

Pada suhu tinggi, NO₂ mengalami reaksi fotokimia, di mana molekul NO₂ menyerap energi dari sinar matahari (radiasi UV) dan terurai menjadi NO (Nitrogen Oksida) dan atom oksigen (O). Reaksi ini, yang dikenal sebagai fotolisis, dapat ditulis sebagai $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}$ dan $\text{ONO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}$, $h\nu$ merupakan energi foton dari sinar matahari. Atom oksigen (O) yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan molekul oksigen (O₂) di atmosfer untuk membentuk ozon (O₃), melalui reaksi $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$ dan $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$. Proses ini dipercepat pada suhu tinggi karena energi panas meningkatkan laju reaksi kimia. Akibatnya, konsentrasi NO₂ di atmosfer menurun, sementara konsentrasi ozon (O₃) meningkat. Fenomena ini sering terlihat di daerah perkotaan selama musim panas, di mana suhu tinggi dan sinar matahari intensif memicu reaksi fotokimia yang lebih cepat (Apriawati & Kiswandono, 2017).



Gambar 5. Hubungan Suhu dengan Konsentrasi NO₂

Berdasarkan gambar 5, terlihat bahwa terdapat pola penurunan konsentrasi NO₂ seiring dengan meningkatnya suhu udara. Pada suhu sekitar 32–34 °C, konsentrasi NO₂ cenderung tinggi, bahkan mencapai lebih dari 150 µg/Nm³. Sebaliknya, pada suhu yang lebih tinggi, khususnya mendekati 39 °C, konsentrasi NO₂ justru menurun secara signifikan hingga berada di bawah 30 µg/Nm³. Hal ini dapat dijelaskan secara ilmiah bahwa kenaikan suhu udara dapat mempercepat reaksi fotokimia yang menguraikan gas NO₂ menjadi senyawa lain, seperti NO dan O₃, sehingga konsentrasinya di udara ambien menjadi lebih rendah. Selain itu, pada suhu yang lebih tinggi, peningkatan turbulensi atmosferik dan dispersi vertikal juga dapat mempercepat pengenceran polutan di udara. Pola ini menunjukkan adanya hubungan negatif antara suhu dan konsentrasi NO₂, meskipun tidak secara linear sempurna, yang menunjukkan bahwa faktor suhu turut memengaruhi dinamika keberadaan polutan NO₂ di lingkungan kampus UNJA Mendalo.

Pada tabel 9, terdapat variasi suhu yang berbeda-beda setiap hari selama pengukuran, yang biasanya dipengaruhi oleh kondisi cuaca pada waktu tersebut. Suhu tertinggi pada lokasi sampling 1 terjadi pada tanggal 30 Oktober pukul 12:00 WIB dengan nilai 39°C sementara suhu yang terendah adalah saat pengukuran tanggal 29 Oktober jam 08:00 WIB yaitu 35,4°C, untuk nilai rata-rata suhu yang diukur dalam 2 hari adalah 34,17°C, sedangkan untuk lokasi sampling 2 suhu tertinggi terjadi pada tanggal 05 November jam 12:00 WIB dengan nilai 37°C dan 31,20°C merupakan suhu terendah yang diperoleh pada

pengukuran tanggal 06 November jam 13:00 WIB sementara untuk nilai rata-rata suhu yang diukur dalam 4 kali pengukuran selama 2 hari adalah 33,3°C

Tabel 10. Analisis Deskriptif Suhu dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>	<i>S.E. Mean</i>
Suhu Titik Sampling 1	4	35.42	2.45	1.22
Titik Sampling 2	4	33.38	1.49	.75
NO ₂ Titik Sampling 1	4	35.00	12.66	6.33
Titik Sampling 2	4	108.50	38.01	19.00

Berdasarkan tabel 10. rata-rata suhu di Titik Sampling 1 lebih tinggi (35.42°C) dibandingkan di Titik Sampling 2 (33.38°C). Simpangan baku di Titik Sampling 1 (2.45) lebih besar daripada di Titik Sampling 2 (1.49), menunjukkan variasi suhu yang lebih besar di Titik Sampling 1. *Standard Error of Mean* (SEM) di Titik Sampling 1 (1.22) juga lebih besar daripada di Titik Sampling 2 (0.75), menunjukkan ketidakpastian yang lebih tinggi dalam estimasi rata-rata suhu di Titik Sampling 1. Meskipun ada perbedaan rata-rata suhu, perbedaan ini mungkin tidak signifikan secara statistik dan perbedaan rata-rata konsentrasi NO₂ sangat besar dan kemungkinan signifikan secara statistik maka perlu melakukan uji t-test untuk memastikan hal tersebut.

Sebelum uji-t perlu melakukan uji normalitas karena uji normalitas dalam analisis data dilakukan untuk memastikan apakah data yang digunakan memenuhi asumsi distribusi normal, yang menjadi dasar banyak metode statistik parametrik. Alasan utama dilakukannya uji ini adalah karena teknik statistik seperti uji-t, ANOVA, regresi linear, dan korelasi Pearson mengasumsikan bahwa data atau residualnya terdistribusi secara normal. Jika asumsi ini tidak terpenuhi, hasil analisis bisa menjadi tidak valid atau menyesatkan, sehingga pengambilan keputusan berdasarkan uji tersebut dapat salah. Selain itu, uji normalitas juga membantu peneliti menentukan apakah perlu menggunakan metode non-parametrik, seperti uji Mann-Whitney atau Kruskal-Wallis, jika data tidak normal. Dengan demikian, uji normalitas berperan penting dalam memastikan keandalan dan ketepatan kesimpulan statistik yang dihasilkan.

Rata-rata konsentrasi NO₂ di Titik Sampling 2 jauh lebih tinggi (108.50 µg/m³) dibandingkan di Titik Sampling 1 (35.00 µg/m³). Simpangan baku di Titik Sampling 2 (38.01) jauh lebih besar daripada di Titik Sampling 1 (12.66), menunjukkan variasi konsentrasi NO₂ yang sangat besar di Titik Sampling 2. *Standard Error of Mean* (SEM) di Titik Sampling 2 (19.00) juga jauh lebih besar daripada di Titik Sampling 1 (6.33), menunjukkan ketidakpastian yang sangat

tinggi dalam estimasi rata-rata konsentrasi NO₂ di Titik Sampling 2. Sebelum uji t-test perlu melukan uji normalitas (Shapiro-Wilk) terlebih dahulu untuk memastikan data berdistribusi normal.

Tabel 11. Uji Normalitas Suhu dan NO₂

Variabel	Statistic	df	Sig. (p-value)
Suhu	0,88	8	0,19
NO ₂	0,91	8	0,36

Berdasarkan hasil uji normalitas pada tabel 11 yang menggunakan Shapiro-Wilk Test, dapat disimpulkan bahwa kedua variabel, yaitu suhu dan NO₂, berdistribusi normal. Hal ini ditunjukkan oleh nilai p-value yang lebih besar dari 0,05 untuk kedua variabel. Kriteria penolakan atau penerimaan hipotesis ditentukan oleh besarnya p-value yang diperoleh dari hasil pengujian. Apabila nilai p-value kurang dari 0,05 ($p\text{-value} < 0,05$), hipotesis nol ditolak yang mengindikasikan adanya masalah heteroskedastisitas (kondisi di mana varians dari error term bersifat konstan pada seluruh pengamatan) dalam model. Sebaliknya, jika p-value sama dengan atau lebih besar dari 0,05 ($p\text{-value} \geq 0,05$), maka tidak ada bukti yang cukup untuk menolak hipotesis nol, sehingga dapat dikatakan bahwa model memenuhi asumsi kriteria tersebut (Wibowo, 2025). Untuk variabel suhu, nilai p-value adalah 0,19, sedangkan untuk variabel NO₂, nilai p-value adalah 0,36. sehingga metode statistik parametrik seperti korelasi Pearson atau Independent Samples t-test dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Tabel 12. Uji t-test Suhu, Kelembapan dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

	<i>Levene's Test for Equality of Variances</i>		<i>T-Test for Equality of Means</i>						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference-	Std. Error Difference-	<i>95% Confidence Interval of the Difference</i>	
								Lower	Upper
Suhu <i>Equal variances assumed</i>	.77	.413	1.43	6.00	.203	2.05	1.43	-1.46	5.56
			<i>Equal variances not assumed</i>	1.43	4.96	.212	2.05	1.43	-1.64
NO₂ <i>Equal variances assumed</i>	4.37	.082	-3.67	6.00	.010	-73.50	20.03	-122.51	-24.48
			<i>Equal variances not assumed</i>	-3.67	3.66	.025	-73.50	20.03	-131.22
Kelembapan <i>Equal variances assumed</i>	.39	.555	-2.72	6.00	.035	-10.46	3.85	-19.87	-1.04
			<i>Equal variances not assumed</i>	-2.72	5.44	.038	-10.46	3.85	-20.11

Berdasarkan hasil *Independent Samples Test* atau uji t- test pada tabel 12, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam rata-rata konsentrasi NO₂ antara dua kelompok, tetapi tidak ada perbedaan signifikan dalam rata-rata suhu. Pertama, *Levene's Test for Equality of Variances* menunjukkan bahwa varians kedua kelompok homogen untuk kedua variabel, yaitu suhu dan konsentrasi NO₂. Untuk suhu, nilai F = 0.77 dengan Sig. = 0.413, sedangkan untuk NO₂, nilai F = 4.37 dengan Sig. = 0.082. Karena kedua nilai Sig. lebih besar dari 0.05, maka dapat menggunakan hasil Equal variances assumed dalam uji t-test.

Untuk suhu, hasil uji t-test menunjukkan nilai t = 1.43 dengan Sig. (2-tailed) = 0.203. Nilai Sig. yang lebih besar dari 0.05 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam rata-rata suhu antara dua kelompok. Selisih rata-rata suhu adalah 2.05, dengan interval kepercayaan 95% antara -1.46 hingga 5.56. Ini berarti bahwa perbedaan suhu antara kedua kelompok tidak signifikan secara statistik.

Di sisi lain, untuk konsentrasi NO₂, hasil uji t-test menunjukkan nilai t = -3.67 dengan Sig. (2-tailed) = 0.010. Nilai Sig. yang lebih kecil dari 0.05 menunjukkan bahwa ada perbedaan signifikan dalam rata-rata konsentrasi NO₂ antara dua kelompok. Selisih rata-rata konsentrasi NO₂ adalah -73.50, dengan interval kepercayaan 95% antara -122.51 hingga -24.48. Ini menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi NO₂ di satu kelompok secara signifikan lebih rendah daripada kelompok lainnya.

Tabel 13. Uji korelasi Suhu dan NO₂

	Suhu	NO ₂
Pearson Correlation	1000	-0.274
Sig. (2-tailed)		0.512
N	8	8
NO ₂		
Pearson Correlation	-0.274	1000
Sig. (2-tailed)	0.512	
N	8	8

Berdasarkan hasil analisis korelasi Pearson yang ada dalam tabel 13, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara Suhu dan NO₂ memiliki koefisien korelasi sebesar -0,274. Nilai ini menunjukkan adanya hubungan negatif lemah antara kedua variabel, yang berarti bahwa ketika suhu meningkat, konsentrasi NO₂ cenderung menurun. Namun, hubungan ini tidak signifikan secara statistik

karena nilai p-value (Sig. 2-tailed) adalah 0,512, yang jauh lebih besar dari tingkat signifikansi umum ($\alpha = 0,05$). Jumlah data yang dianalisis ($N = 8$) juga relatif kecil, yang mungkin memengaruhi kekuatan dan signifikansi hubungan. Berdasarkan penelitian (Cichowicz et al., 2017), terdapat korelasi negatif yang signifikan antara suhu udara dengan konsentrasi NO_2 di atmosfer. Meskipun hasil ini menunjukkan tren negatif, hubungan tersebut tidak cukup kuat untuk dianggap signifikan secara statistik.

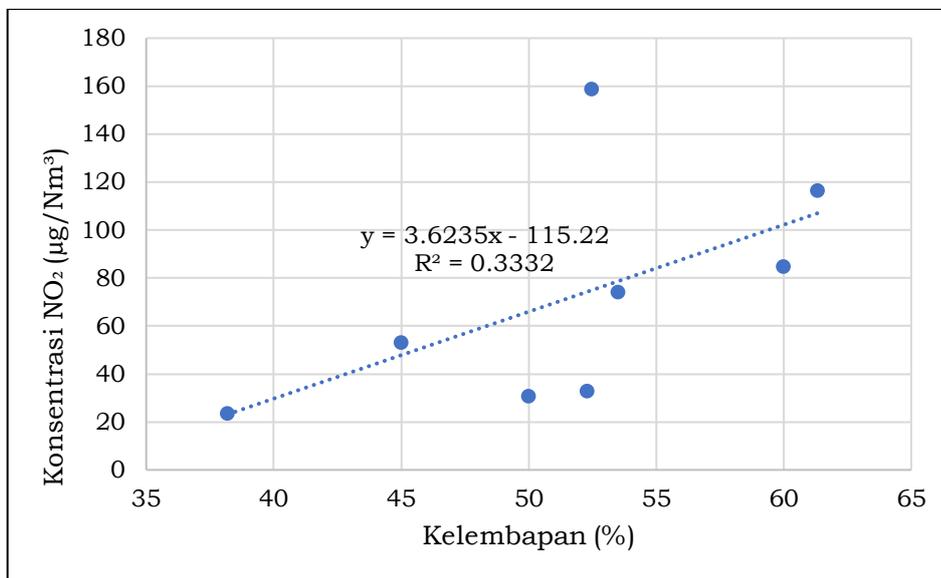
4.1.3.2 Hubungan Kelembapan dan NO_2 di Kampus UNJA Mendalo

Kelembapan udara mengacu pada kandungan uap air di dalam udara, yang dapat diukur dalam dua cara: secara absolut (dalam gram uap air per meter kubik udara) atau relatif (persentase uap air dibandingkan dengan kapasitas maksimum udara pada suhu tertentu). Faktor-faktor seperti suhu, tekanan, dan ketersediaan sumber uap air memengaruhi tingkat kelembapan. Udara yang lebih panas memiliki kemampuan menahan lebih banyak uap air daripada udara dingin, sehingga kelembapan relatif sering berfluktuasi seiring perubahan suhu. Selain memengaruhi kenyamanan manusia, kelembapan udara juga berperan penting dalam mengatur perilaku polutan udara, termasuk gas nitrogen dioksida (NO_2).

Kelembapan udara memiliki hubungan yang erat dengan konsentrasi dan penyebaran NO_2 di atmosfer. Pertama, NO_2 dapat bereaksi dengan uap air membentuk asam nitrat (HNO_3) dan senyawa nitrat lain, yang mengurangi kadar NO_2 tetapi meningkatkan pembentukan partikel halus ($\text{PM}_{2.5}$) yang juga berbahaya bagi kesehatan. Kedua, kelembapan tinggi sering dikaitkan dengan kondisi cuaca yang stabil, seperti inversi suhu, yang menghambat penyebaran polutan dan menyebabkan NO_2 terakumulasi di dekat permukaan tanah. Di sisi lain, kelembapan rendah yang disertai angin kencang dapat membantu penyebaran polutan, sehingga mengurangi konsentrasi NO_2 . Selain itu, kelembapan tinggi dapat memicu reaksi kimia antara NO_2 dan senyawa lain seperti amonia, menghasilkan partikel amonium nitrat yang berkontribusi pada polusi partikulat.

Kelembapan udara juga memengaruhi keakuratan alat pengukur polutan, karena beberapa sensor NO_2 sensitif terhadap perubahan kelembapan. Hal ini mengharuskan kalibrasi alat secara rutin untuk memastikan hasil pengukuran yang tepat. Dari perspektif kesehatan, kombinasi kelembapan tinggi dan konsentrasi NO_2 yang tinggi dapat memperburuk kondisi pernapasan, terutama pada penderita asma atau penyakit paru-paru lainnya. Studi menunjukkan bahwa di daerah perkotaan dengan kelembapan tinggi, NO_2 sering menjadi

pemicu pembentukan kabut fotokimia (smog) dan ozon (O_3), yang semakin menurunkan kualitas udara. Oleh karena itu, pemahaman tentang hubungan antara kelembapan udara dan polutan seperti NO_2 sangat penting untuk pengelolaan kualitas udara dan mengurangi dampak kesehatan yang ditimbulkannya.



Gambar 6. Hubungan Kelembapan dengan Konsentrasi NO_2

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara kelembapan udara (%) dengan konsentrasi gas Nitrogen Dioksida (NO_2) di udara ambien. Berdasarkan persamaan regresi linear $y = 3,6235x - 115,22$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,3332$, terlihat bahwa terdapat hubungan positif antara kelembapan dan konsentrasi NO_2 , meskipun kekuatannya sedang (R^2 sekitar 33%). Artinya, sekitar 33% variasi konsentrasi NO_2 dapat dijelaskan oleh perubahan kelembapan udara, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti suhu, lalu lintas kendaraan, dan arah angin. Peningkatan kelembapan cenderung disertai dengan peningkatan konsentrasi NO_2 , yang dapat disebabkan oleh menurunnya dispersi vertikal dan peningkatan stabilitas atmosfer saat kelembapan tinggi, sehingga gas polutan seperti NO_2 terperangkap di lapisan bawah atmosfer. Di samping itu, reaksi kimia antara NO dan O_3 yang membentuk NO_2 juga dapat berlangsung lebih lambat dalam kondisi lembap, yang menyebabkan akumulasi konsentrasi NO_2 lebih tinggi. Dengan demikian, grafik ini mengindikasikan bahwa kelembapan merupakan salah satu parameter meteorologi yang turut berperan dalam akumulasi polutan udara, meskipun bukan satu-satunya faktor dominan.

Tabel 14. Analisis Deskriptif Kelembapan dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

		<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>	<i>S.E. Mean</i>
Kelembapan	Titik Sampling 1	4	46.37	6.25	3.13
	Titik Sampling 2	4	56.83	4.48	.2.24
NO ₂	Titik Sampling 1	4	35.00	12.66	6.33
	Titik Sampling 2	4	108.50	38.01	19.00

Dalam tabel 14 dapat dilihat pada titik sampling 1, rata-rata kelembapan adalah 46.37 dengan standar deviasi 6.25, menunjukkan variasi yang relatif kecil dalam data kelembapan. nilai kelembapan berkisar antara 38.18 hingga 52.30. sementara itu, konsentrasi NO₂ memiliki rata-rata 35.00 dengan standar deviasi 12.66, yang menunjukkan variasi yang lebih besar dibandingkan kelembapan. konsentrasi no₂ di titik sampling 1 berkisar antara 23.37 hingga 52.98. jumlah data yang valid untuk kedua variabel adalah 4.

Pada titik sampling 2, rata-rata kelembapan lebih tinggi, yaitu 56.83 dengan standar deviasi 4.48, menunjukkan bahwa kelembapan di titik ini lebih stabil dibandingkan titik sampling 1. nilai kelembapan berkisar antara 52.48 hingga 61.33. konsentrasi no₂ di titik sampling 2 jauh lebih tinggi, dengan rata-rata 108.50 dan standar deviasi 38.01, yang menunjukkan variasi yang sangat besar. konsentrasi NO₂ di titik ini berkisar antara 74.13 hingga 158.73.

Dalam tabel 12. hasil uji Levene's Test menunjukkan bahwa untuk kelembapan, nilai F adalah 0.39 dengan signifikansi 0.555, sedangkan untuk NO₂, nilai F adalah 4.37 dengan signifikansi 0.082. Karena signifikansi kedua variabel lebih besar dari 0.05, varians dianggap homogen, sehingga uji t-test dilakukan dengan asumsi varians homogen (Equal variances assumed).

Hasil uji t-test dalam tabel 12 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua titik sampling untuk kedua variabel. Untuk kelembapan, nilai t-test adalah -2.72 dengan derajat kebebasan (df) 6.00 dan signifikansi (p-value) 0.035. Karena p-value < 0.05, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam rata-rata kelembapan antara Titik Sampling 1 dan Titik Sampling 2. Rata-rata kelembapan di Titik Sampling 2 (56.83) secara signifikan lebih tinggi daripada di Titik Sampling 1 (46.37). Selisih rata-rata (mean difference) antara kedua kelompok adalah -10.46, dengan interval kepercayaan 95% antara -19.87 hingga -1.04.

Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan metode Shapiro-Wilk untuk mengetahui apakah data konsentrasi NO₂ dan kelembapan memiliki distribusi normal. Hasil pengujian, yang ditampilkan pada Tabel 15,

menunjukkan bahwa data NO₂ memiliki nilai Shapiro-Wilk sebesar 0,91 dengan signifikansi 0,36, sedangkan data kelembapan menunjukkan nilai Shapiro-Wilk sebesar 0,95 dengan signifikansi 0,68. Karena nilai signifikansi kedua variabel lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa distribusi data NO₂ dan kelembapan bersifat normal.

Tabel 15. Uji Normalitas Kelembapan dan NO₂

Variabel	Statistic	df	Sig. (p-value)
Kelembapan	0,95	8	0,68
NO ₂	0,91	8	0,36

Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan metode Shapiro-Wilk untuk mengetahui apakah data konsentrasi NO₂ dan kelembapan memiliki distribusi normal. Hasil pengujian, yang ditampilkan pada Tabel 15, menunjukkan bahwa data NO₂ memiliki nilai Shapiro-Wilk sebesar 0,91 dengan signifikansi 0,36, sedangkan data kelembapan menunjukkan nilai Shapiro-Wilk sebesar 0,95 dengan signifikansi 0,68. Karena nilai signifikansi kedua variabel lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa distribusi data NO₂ dan kelembapan bersifat normal.

Tabel 16. Korelasi Kelembapan dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

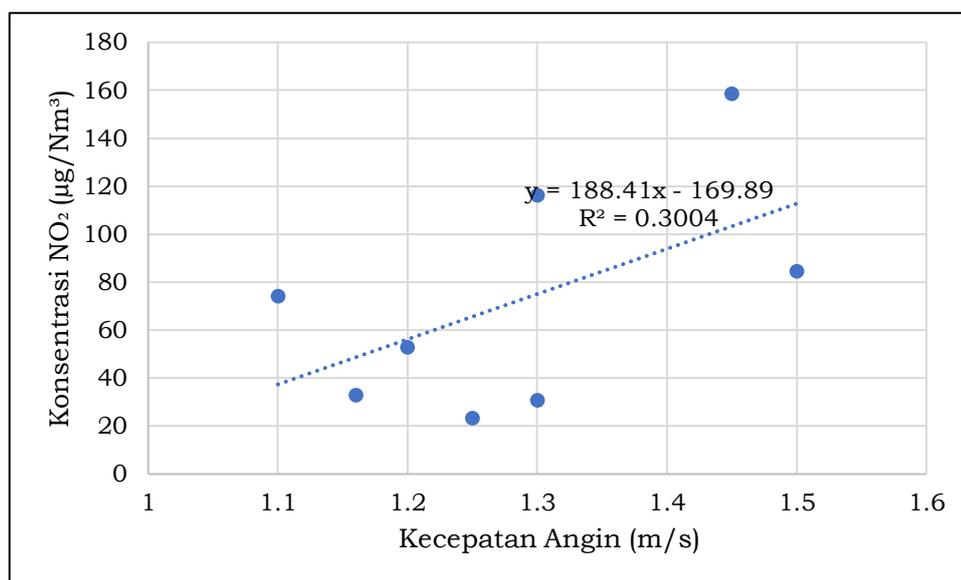
	Kelembapan	NO ₂
Pearson Correlation	1000	0.577
Sig. (2-tailed)		0.134
N	8	8
NO ₂		
Pearson Correlation	0.577	1000
Sig. (2-tailed)	0.134	
N	8	8

Berdasarkan tabel 16. analisis korelasi antara kelembapan dan NO₂ menggunakan korelasi Pearson. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif antara kelembapan dan NO₂ dengan nilai korelasi Pearson sebesar 0.577. Namun, nilai signifikansi (p-value) sebesar 0.134 menunjukkan bahwa korelasi ini tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu, namun bertentangan dengan studi lain yang melaporkan bahwa korelasi negatif antara NO₂ dan kelembapan relatif.

Berdasarkan hasil penelitian (Voiculescu et al., 2020), teramati korelasi positif antara NO_2 dan kelembapan pada siang hari. Meskipun perbedaan antara korelasi parsial dan langsung (DNO(t)H) tergolong kecil, nilai kedua korelasi tersebut menunjukkan tanda yang berlawanan dalam banyak kasus. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu berkontribusi parsial terhadap korelasi NO_2 dan kelembapan. Peran penting kelembapan dalam variasi NO_2 yang dipengaruhi oleh radiasi terhadap korelasi yang sama (NO_2 -kelembapan) khusus untuk siang hari. Radiasi matahari secara parsial memicu korelasi positif, namun efeknya tidak signifikan mengingat semua nilai DNO(R)H relatif kecil. Beberapa studi ilmiah mengemukakan bahwa konsentrasi NO_2 cenderung meningkat pada kondisi kelembapan rendah. Mekanisme ini dijelaskan melalui berkurangnya frekuensi reaksi antara NO_2 dan radikal hidroksil (OH) di atmosfer, sehingga memperpanjang waktu tinggal (*residence time*) NO_2 dalam udara.

4.1.3.3 Hubungan Kecepatan Angin dan NO_2 di Kampus UNJA Mendalo

Salah satu faktor iklim yang memengaruhi konsentrasi NO_2 di udara adalah kecepatan angin. Kecepatan angin yang tinggi meningkatkan proses dispersi polutan, sehingga konsentrasi pencemar di udara cenderung menurun. Sebaliknya, kecepatan angin yang rendah menghambat penyebaran polutan, yang dapat menyebabkan akumulasi dan meningkatnya konsentrasi pencemar di udara.



Gambar 7. Hubungan Kecepatan Angin dengan Konsentrasi NO_2

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara kecepatan angin (m/s) dan konsentrasi NO_2 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) di udara ambien. Berdasarkan persamaan regresi linear $y = 188,41x - 169,89$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,3004$, terlihat bahwa terdapat hubungan positif antara kecepatan angin dan konsentrasi NO_2 ,

meskipun hubungan tersebut hanya menjelaskan sekitar 30% variasi data. Secara teori, peningkatan kecepatan angin biasanya mempercepat dispersi polutan, sehingga menurunkan konsentrasi NO₂. Namun, hasil pada grafik ini menunjukkan tren sebaliknya, di mana semakin tinggi kecepatan angin, konsentrasi NO₂ justru cenderung meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh arah angin yang membawa polutan dari sumber emisi terdekat (misalnya dari jalan raya utama atau area padat kendaraan menuju lokasi sampling). Selain itu, kecepatan angin yang meningkat tanpa diiringi oleh arah angin yang mengarah keluar dari area sumber emisi dapat menyebabkan akumulasi lokal NO₂. Oleh karena itu, meskipun secara umum angin berperan dalam pengenceran polutan, dalam kasus ini kecepatan angin justru berkorelasi positif terhadap konsentrasi NO₂ karena faktor arah angin dan sumber emisi lokal.

Tabel 17. Analisis deskriptif Kecepatan Angin dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

		<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Deviation</i>	<i>S.E. Mean</i>
Kec. Angin	Titik Sampling 1	4	1.23	.06	.03
	Titik Sampling 2	4	1.34	.18	.09
NO ₂	Titik Sampling 1	4	35.00	12.66	6.33
	Titik Sampling 2	4	108.50	38.01	19.00
Valid N (listwise)		4			
Missing N (listwise)		0			

Berdasarkan tabel 17 yang disajikan, terdapat analisis statistik untuk dua variabel, yaitu Kecepatan Angin dan NO₂, yang diukur pada dua titik sampling berbeda. Untuk variabel Kecepatan, pada titik sampling 1, rata-rata kecepatan adalah 1.23 dengan standar deviasi 0.06, menunjukkan bahwa data cenderung sangat mendekati mean karena standar deviasinya kecil. *Standard error of the mean* (S.E. Mean) sebesar 0.03 mengindikasikan tingkat presisi dari estimasi mean. Sementara itu, pada titik sampling 2, rata-rata kecepatan sedikit lebih tinggi, yaitu 1.34, dengan standar deviasi 0.18 yang lebih besar, menunjukkan variasi data yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik sampling 1. *Standard error of the mean* pada titik sampling 2 adalah 0.09, yang juga lebih besar, mengindikasikan estimasi mean yang kurang presisi dibandingkan dengan titik sampling 1.

Secara keseluruhan, data menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua titik sampling, terutama untuk variabel NO₂, di mana konsentrasi pada

titik sampling 2 jauh lebih tinggi dan memiliki variasi yang lebih besar dibandingkan dengan Titik Sampling 1. Hal ini dapat mengindikasikan perbedaan kondisi lingkungan atau faktor lain yang memengaruhi kedua titik sampling tersebut.

Tabel 18. Uji Normalitas Kecepatan Angin dan NO₂

Variabel	Statistic	df	Sig. (p-value)
Kecepatan Angin	0,95	8	0,70
NO ₂	0,91	8	0,36

Selanjutnya, dilakukan uji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk menentukan apakah data NO₂ dan kecepatan angin berdistribusi normal. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada tabel 18. yang menunjukkan bahwa data NO₂ memiliki nilai Shapiro-Wilk sebesar 0.91 dengan signifikansi 0.36, sedangkan data kecepatan memiliki nilai Shapiro-Wilk sebesar 0.95 dengan signifikansi 0.70. Karena nilai signifikansi kedua variabel lebih besar dari 0.05, dapat disimpulkan bahwa data NO₂ dan kecepatan angin berdistribusi normal.

Tabel 19 menyajikan hasil uji t-test untuk membandingkan rata-rata Kecepatan Angin dan NO₂ antara Titik Sampling 1 dan Titik Sampling 2. Pertama, *Levene's Test for Equality of Variances* digunakan untuk menguji asumsi kesamaan varians antara kedua kelompok. Untuk Kecepatan Angin, nilai signifikansi (Sig.) adalah 0.087, yang lebih besar dari 0.05, menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam varians antara kedua titik sampling. Hal yang sama berlaku untuk NO₂, dengan nilai signifikansi 0.082, yang juga menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan dalam varians.

Selanjutnya, hasil *T-Test for Equality of Means* menunjukkan perbandingan rata-rata antara kedua titik sampling. Untuk kecepatan angin, baik dengan asumsi varians sama (*equal variances assumed*) maupun tidak sama (*equal variances not assumed*), nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) adalah 0.290 dan 0.316, yang lebih besar dari 0.05. Ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam rata-rata kecepatan angin antara kedua titik sampling.

Sementara itu, untuk NO₂, nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) adalah 0.010 (dengan asumsi varians sama) dan 0.025 (tanpa asumsi varians sama), yang keduanya lebih kecil dari 0.05. Ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam rata-rata konsentrasi NO₂ antara kedua titik sampling.

Tabel 19. Uji t-test Kecepatan Angin dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

	Levene's Test for Equality of Variances		T-Test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference-	Std. Error Difference-	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Kec. Angin	4.17	.087	-1.16	6.00	.290	-.11	.09	-.34	.12
			Equal variances assumed	-1.16	3.68	.316	-.11	.09	-.38
NO₂	4.34	.082	-3.67	6.00	.010	-73.46	20.03	-122.47	-24.46
			Equal variances assumed	-3.67	3.66	.025	-73.46	20.03	-131.18

Tabel 20. Korelasi Kecepatan Angin dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

	Kecepatan Angin	NO ₂
Pearson Correlation	1000	0.577
Sig. (2-tailed)		0.134
N	8	8
NO ₂		
Pearson Correlation	0.577	1000
Sig. (2-tailed)	0.134	
N	8	8

Tabel 20. menyajikan hasil analisis korelasi Pearson antara dua variabel, yaitu Kecepatan Angin dan NO₂. Nilai korelasi Pearson antara Kecepatan Angin dan NO₂ adalah 0.577, yang menunjukkan adanya hubungan positif yang moderat antara kedua variabel. Artinya, terdapat kecenderungan bahwa peningkatan kecepatan angin dapat diikuti oleh peningkatan konsentrasi NO₂, atau sebaliknya. Namun, nilai signifikansi (p-value) dari korelasi ini adalah 0.134, yang lebih besar dari tingkat signifikansi umum yang digunakan, yaitu 0.05. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan positif yang diamati tidak signifikan secara statistik. Dengan kata lain, ada 13.4% kemungkinan bahwa korelasi sebesar 0.577 terjadi secara kebetulan, tanpa adanya hubungan yang nyata antara kedua variabel.

Selain itu, jumlah data yang digunakan dalam analisis ini adalah 8 (N = 8), yang merupakan ukuran sampel yang relatif kecil. Ukuran sampel yang kecil dapat mengurangi kekuatan statistik dari analisis, membuatnya lebih sulit untuk mendeteksi hubungan yang signifikan. Meskipun nilai korelasi menunjukkan hubungan yang moderat, ketidaksignifikan statistik dan ukuran sampel yang kecil mengindikasikan bahwa hasil ini tidak dapat diandalkan untuk menyimpulkan adanya hubungan yang nyata antara kecepatan angin dan NO₂.

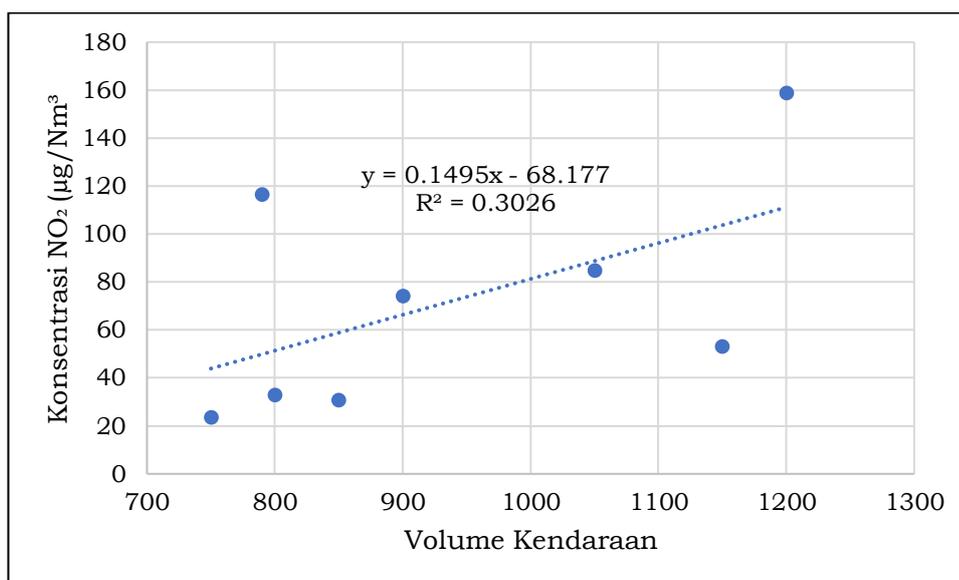
Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Wibowo, 2025) di mana koefisien regresi bernilai negatif. Analisis regresi menunjukkan kekuatan hubungan antara kecepatan angin dan konsentrasi NO₂ di lokasi bervegetasi dengan nilai korelasi (R) sebesar 0,812 dan koefisien determinasi (R²) 0,660. Hal ini mengindikasikan bahwa 66% variasi konsentrasi NO₂ dapat dijelaskan oleh kecepatan angin, sementara 34% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model penelitian. Hasil ini menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan angin dan konsentrasi NO₂ di lokasi bervegetasi bersifat tidak searah. Artinya, semakin

tinggi kecepatan angin, konsentrasi NO_2 di lokasi bervegetasi justru semakin rendah.

4.1.3.4 Hubungan Volume Kendaraan dengan Nitrogen Dioksida NO_2 di Kampus UNJA Mendalo

Pengukuran volume kendaraan di area kampus merupakan langkah penting untuk memantau dan menganalisis tingkat pencemaran udara, khususnya gas NO_2 , yang banyak dihasilkan oleh aktivitas transportasi. Kawasan kampus biasanya memiliki lalu lintas yang padat, terutama pada jam masuk dan pulang kuliah, dengan dominasi kendaraan pribadi seperti sepeda motor dan mobil.

Dengan menghitung volume kendaraan, dapat diperkirakan seberapa besar kontribusi emisi NO_2 dari aktivitas transportasi di lingkungan kampus. Data ini juga membantu mengidentifikasi waktu dan lokasi dengan konsentrasi NO_2 tertinggi, seperti di sekitar gerbang utama, area parkir, atau jalan-jalan yang sering dilalui kendaraan. Selain itu, hasil pengukuran ini dapat menjadi dasar bagi pihak kampus untuk menerapkan kebijakan pengurangan emisi.



Gambar 8. Hubungan Volume Kendaraan dan Konsentrasi NO_2

Gambar 8 memperlihatkan hubungan antara volume kendaraan dan konsentrasi NO_2 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) di udara ambien. Berdasarkan persamaan regresi linear $y = 0,1495x - 68,177$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,3026$, terlihat bahwa terdapat hubungan positif antara volume kendaraan dengan konsentrasi NO_2 , di mana sekitar 30,26% variasi konsentrasi NO_2 dapat dijelaskan oleh fluktuasi volume kendaraan. Hal ini sejalan dengan fakta bahwa kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber utama emisi NO_2 , terutama dari proses

pembakaran bahan bakar fosil. Semakin tinggi volume kendaraan yang melintasi suatu area, maka emisi NO_2 yang dilepaskan ke atmosfer juga semakin besar. Meskipun hubungan yang diperoleh tidak sangat kuat, pola ini tetap mengindikasikan bahwa aktivitas lalu lintas di sekitar lokasi penelitian turut berkontribusi terhadap tingkat pencemaran udara oleh gas NO_2 . Variasi yang tidak sepenuhnya linier kemungkinan disebabkan oleh faktor lain yang memengaruhi konsentrasi NO_2 , seperti kondisi meteorologi (angin, suhu, kelembapan), jenis kendaraan, dan pola kemacetan lalu lintas.

Hasil grafik ini sesuai dengan penelitian (Wiyandari, 2010) yang menunjukkan bahwa semakin padat lalu lintas kendaraan, semakin tinggi pula konsentrasi NO_2 yang terukur. Hal ini mendukung hipotesis bahwa emisi dari kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara NO_2 . Namun, meskipun hubungan tersebut terlihat jelas secara visual, analisis statistik lebih lanjut seperti korelasi atau regresi diperlukan untuk memastikan kekuatan dan signifikansi hubungan tersebut. Berdasarkan hasil penelitian (Dwiramawati et al., 2018) menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi NO_2 di area bervegetasi adalah sebesar $33,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan di area tanpa vegetasi sebesar $94,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi NO_2 dianalisis menggunakan metode Griess-Saltzman.

Berdasarkan hasil uji Independent Sample T-Test, ditemukan bahwa rata-rata konsentrasi NO_2 di area bervegetasi berbeda secara signifikan dibandingkan dengan area tanpa vegetasi. Konsentrasi gas NO_2 di kedua lokasi menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber emisi (0 meter) ke lokasi yang lebih jauh. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa volume kendaraan dan kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi NO_2 di area bervegetasi. Dalam hal ini, peningkatan kecepatan angin secara signifikan menurunkan konsentrasi NO_2 , sedangkan peningkatan jumlah kendaraan secara signifikan meningkatkan konsentrasi NO_2 di area yang dekat dengan jalan.

Tabel 21. Uji Normalitas Volume Kendaraan dan NO_2

Variabel	Statistic	df	Sig. (p-value)
Volume_Kendaraan	0,89	8	0,21
NO_2	0,91	8	0,36

Berdasarkan hasil uji normalitas Shapiro-Wilk yang telah dilakukan dalam tabel 21, dapat disimpulkan bahwa kedua variabel penelitian, yaitu volume kendaraan dan kadar NO_2 , berdistribusi normal. Hal ini terlihat dari nilai signifikansi (p-value) yang lebih besar dari 0,05, yaitu 0,21 untuk volume

kendaraan dan 0,36 untuk NO₂. Nilai statistik Shapiro-Wilk yang mendekati 1 (0,89 untuk volume kendaraan dan 0,91 untuk NO₂) semakin memperkuat kesimpulan bahwa data terdistribusi secara normal. Dengan demikian, analisis statistik parametrik seperti korelasi Pearson dan regresi linear sederhana dapat digunakan untuk menguji hubungan antara kedua variabel tersebut. Korelasi Pearson akan membantu mengidentifikasi kekuatan dan arah hubungan, sedangkan regresi linear sederhana dapat memprediksi seberapa besar pengaruh perubahan volume kendaraan terhadap kadar NO₂ di lingkungan Kampus UNJA Mendalo. Hasil uji normalitas ini menjadi dasar yang penting untuk memastikan keabsahan temuan penelitian, karena metode parametrik mensyaratkan terpenuhinya asumsi normalitas data agar hasilnya dapat diandalkan. Jika data tidak normal, peneliti perlu menggunakan metode non-parametrik atau melakukan transformasi data terlebih dahulu. Namun, dalam kasus ini, hasil uji menunjukkan bahwa data memenuhi asumsi normalitas sehingga analisis dapat dilanjutkan dengan metode parametrik.

Tabel 22. Korelasi Volume Kendaraan dan NO₂ pada Titik Sampling 1 dan 2

	Volume Kendaraan	NO ₂
Pearson Correlation	1000	0.552
Sig. (2-tailed)		0.156
N	8	8
NO ₂		
Pearson Correlation	0.522	1000
Sig. (2-tailed)	0.156	
N	8	8

Hasil analisis korelasi antara volume kendaraan dan kadar NO₂ di Kampus UNJA Mendalo menunjukkan koefisien korelasi Pearson sebesar 0,552 yang mengindikasikan adanya hubungan positif dengan kekuatan sedang antara kedua variabel tersebut. Meskipun secara numerik terlihat kecenderungan bahwa peningkatan volume kendaraan diikuti oleh kenaikan kadar NO₂, hasil ini belum mencapai signifikansi statistik ($p\text{-value} = 0,156 > \alpha = 0,05$) dengan jumlah sampel sebanyak 8 pengamatan.

Hasil ini sesuai dengan penelitian (Dwirahmawati et al., 2018) dimana hasil analisis menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,021 ($\text{sign.} < 0,05$), yang mengindikasikan adanya pengaruh yang signifikan secara simultan antara volume kendaraan dan kecepatan angin terhadap konsentrasi NO₂ di area bervegetasi. Koefisien regresi untuk variabel volume kendaraan adalah sebesar 0,01 dengan nilai positif, yang berarti bahwa peningkatan volume kendaraan

akan disertai dengan peningkatan konsentrasi NO₂. Sebaliknya, penurunan volume kendaraan akan menyebabkan penurunan konsentrasi NO₂.

4.2 Analisis Dampak Paparan Gas NO₂ terhadap Civitas Akademik

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) akibat paparan gas NO₂ di kampus penting dilakukan karena gas ini merupakan polutan udara utama yang berdampak negatif pada kesehatan, terutama sistem pernapasan. NO₂ di lingkungan kampus umumnya berasal dari emisi kendaraan bermotor di area parkir dan jalan sekitar kampus. Paparan jangka pendek terhadap NO₂ dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, batuk, dan memperburuk gejala asma, sementara paparan jangka panjang dikaitkan dengan penurunan fungsi paru dan risiko infeksi pernapasan.

Proses ARKL untuk NO₂ meliputi pemantauan konsentrasi gas menggunakan alat impinger, di area dengan lalu lintas padat seperti gerbang kampus dan tempat parkir. Data konsentrasi NO₂ kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu udara untuk menilai tingkat risikonya. Jika konsentrasi NO₂ melebihi ambang batas aman, langkah mitigasi seperti pengalihan arus kendaraan, penggunaan transportasi ramah lingkungan (sepeda atau shuttle listrik), dan penanaman vegetasi penyerap polutan dapat diterapkan. Edukasi kepada warga kampus tentang bahaya NO₂ dan upaya pencegahan juga menjadi bagian penting dari manajemen risiko ini.

4.2.1 Analisis Deskriptif Responden

Analisis deskriptif responden bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai responden yang telah dikumpulkan, sehingga lebih mudah dipahami dan diinterpretasikan. Dalam penelitian berbasis kuesioner, analisis ini digunakan untuk menyajikan karakteristik responden, seperti jenis kelamin, usia, fakultas, dan semester perkuliahan. Analisis deskriptif juga membantu merangkum data dalam bentuk statistik dasar seperti rata-rata, persentase, dan distribusi frekuensi.

Tabel 23. Distribusi Demografi Responden

Variabel	Kategori	Jumlah	Pesentase
Jenis Kelamin	Laki-laki	12	24%
	perempuan	38	76%
Kelompok usia	<20 tahun	36	72%
	20-25 tahun	14	28%
Semester	Semester 1-2	32	64%
	Semester 3-4	10	20%

Variabel	Kategori	Jumlah	Pesentase
	Semester 5-6	8	16%
Fakultas	FKIP	25	50%
	Sains dan Teknologi	10	20%
	Hukum	5	10%
	Pertanian	4	8%
	Ekonomi dan Bisnis	3	6%
	Peternakan	3	6%

Penelitian ini melibatkan 50 responden mahasiswa dengan karakteristik demografi yang bervariasi. Dominasi responden dari FKIP (50%) terjadi karena lokasi pengambilan sampel penelitian sengaja dipilih di area parkir yang berdekatan dengan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, sehingga memudahkan akses terhadap responden dari fakultas tersebut. Hal ini perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil, karena temuan mungkin lebih merepresentasikan kondisi di sekitar lingkungan FKIP. Dari segi jenis kelamin, responden didominasi oleh perempuan (76%) dibandingkan laki-laki (24%), menunjukkan rasio 3:1. Komposisi ini mengindikasikan bahwa perspektif dan pengalaman mahasiswa perempuan lebih banyak terwakili dalam penelitian ini.

Mayoritas responden berusia di bawah 20 tahun (72%), dengan hanya 28% yang berada dalam rentang 20-25 tahun. Distribusi usia ini, ditambah dengan fakta bahwa 64% responden berasal dari semester 1-2, menunjukkan bahwa temuan penelitian lebih menggambarkan pandangan mahasiswa tahun awal.

Selain FKIP, partisipasi dari fakultas lain lebih terbatas: Sains dan Teknologi (20%), Hukum (10%), Pertanian (8%), Ekonomi dan Bisnis (6%), dan Peternakan (6%). Keterbatasan jumlah responden dari fakultas-fakultas non-FKIP perlu dipertimbangkan dalam generalisasi hasil, terutama untuk fakultas dengan representasi sangat rendah seperti Ekonomi dan Bisnis serta Peternakan (masing-masing hanya 3 responden).

4.2.1.1 Persepsi Responden Terhadap Pencemaran Gas NO₂

Berdasarkan data survei, persepsi mahasiswa mengenai pencemaran gas NO₂ di lingkungan kampus Unja Mendalo pada tabel 24. menunjukkan bahwa sebagian besar responden menganggap kadar gas NO₂ cukup tinggi, dengan rata-rata skor 3,3 (skala 1-5) dan modus serta median sebesar 3. Meskipun terdapat variasi jawaban, simpangan baku sebesar 0,789 menunjukkan bahwa persepsi ini relatif konsisten di antara responden. Sementara itu, keyakinan akan dampak gas NO₂ terhadap kesehatan mahasiswa lebih tinggi, dengan rata-rata 3,94 dan

mayoritas responden memilih skor 4, yang mengindikasikan kesadaran akan risiko kesehatan. Namun, simpangan baku yang lebih besar (1,018) mencerminkan adanya perbedaan pendapat yang lebih signifikan dalam hal ini. Di sisi lain, upaya kampus dalam mengurangi emisi NO₂ dinilai cukup moderat, dengan rata-rata 3,14 dan modus serta median sebesar 3, menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa merasa pihak kampus telah melakukan tindakan, meskipun belum optimal. Secara keseluruhan, hasil survei mengungkapkan kekhawatiran akan polusi NO₂ di kampus, terutama terkait dampaknya terhadap kesehatan.

Tabel 24. Persepsi tentang Pencemaran Gas NO₂

Keterangan	Rata-rata	Modus	Median	Sim.Baku	Min.	Max.
Saya merasa bahwa kadar gas NO ₂ di lingkungan kampus cukup tinggi.	3,3	3	3	0,789	2	5
Saya percaya bahwa paparan gas NO ₂ dapat memengaruhi kesehatan mahasiswa	3.94	4	4	1.018	2	5
Saya merasa pihak kampus sudah melakukan upaya untuk mengurangi emisi gas NO ₂	3.14	3	3	0.904	1	5

4.2.1.2 Paparan Gas NO₂ Terhadap Responden di Lingkungan Kampus

Berdasarkan data survei dan berdasarkan tabel 25, Paparan NO₂ terhadap mahasiswa di lingkungan kampus dapat dianalisis melalui tiga aspek utama. Pertama, terkait frekuensi berada di area sumber emisi seperti parkir, rata-rata skor sebesar 2,62 (dalam skala 1-5) menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa tidak terlalu sering menghabiskan waktu di lokasi tersebut. Nilai modus 2 dan median 3 menguatkan kesimpulan bahwa mayoritas responden hanya sesekali berada di area parkir. Namun, simpangan baku yang relatif tinggi (1,067) mengindikasikan adanya variasi yang cukup besar dalam kebiasaan ini, di mana sebagian mahasiswa ternyata lebih sering terpapar area emisi dibandingkan yang lain.

Kedua, mengenai persepsi kualitas udara, rata-rata skor 3,14 untuk pernyataan tentang sering menghirup udara tidak sedap atau pengap menunjukkan bahwa sebagian mahasiswa merasakan adanya penurunan kualitas udara di kampus. Nilai modus 4 (yang merupakan pilihan paling sering dipilih) dan median 3 mengisyaratkan bahwa meskipun tidak semua mahasiswa

merasakannya secara intens, cukup banyak yang mengalami ketidaknyamanan akibat udara di lingkungan kampus. Simpangan baku 1,125 yang lebih tinggi dibandingkan variabel sebelumnya juga menegaskan bahwa pengalaman mahasiswa terhadap kualitas udara ini cukup beragam.

Ketiga, dari segi upaya perlindungan diri, rata-rata penggunaan masker di area parkir sangat rendah (1,89), dengan modus dan median keduanya berada di skor 2. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas mahasiswa jarang memakai masker meskipun berada di area yang berpotensi tercemar NO_2 . Simpangan baku 0,961 yang relatif rendah mengindikasikan konsistensi dalam kebiasaan ini artinya, hampir sebagian besar responden memang tidak terbiasa menggunakan masker di lingkungan kampus.

Tabel 25, Paparan Terhadap Gas NO_2

Keterangan	Rata-rata	Modus	Median	Sim.Baku	Min.	Max.
Saya menghabiskan waktu di area kampus yang dekat dengan sumber emisi gas NO_2 (area parkir).	2,62	2	3	1.067	1	5
Saya sering menghirup udara yang berbau tidak sedap atau terasa pengap di kampus.	3,14	4	3	1.125	1	5
Saya menggunakan masker saat berada di area parkir.	1,89	2	2	0.961	1	5

Secara keseluruhan, data ini mengungkapkan bahwa paparan gas NO_2 di kampus tidak dirasakan secara intens oleh seluruh mahasiswa, terdapat indikasi penurunan kualitas udara yang cukup signifikan untuk sebagian responden. Rendahnya penggunaan masker juga mencerminkan bahwa kesadaran akan perlindungan diri dari polusi udara masih perlu ditingkatkan. Temuan ini mengisyaratkan pentingnya langkah-langkah mitigasi oleh pihak kampus, seperti pemantauan kualitas udara yang lebih ketat dan sosialisasi mengenai bahaya paparan NO_2 jangka panjang.

4.2.1.3 Dampak Kesehatan yang Dirasakan di Lingkungan Kampus

Hasil survei mengenai dampak kesehatan yang dirasakan mahasiswa akibat paparan gas NO_2 di lingkungan kampus Unja Mendalo menunjukkan beberapa pola yang menarik yang disusun dalam tabel 26. Gejala fisik langsung seperti batuk atau sesak napas dilaporkan relatif jarang terjadi, dengan skor rata-rata 1.94, dimana mayoritas responden (modus 1) menyatakan hampir tidak

pernah mengalaminya. Namun, gejala iritasi pada mata, hidung, atau tenggorokan tampak lebih sering dirasakan, dengan rata-rata 2.28 dan modus 2, mengindikasikan bahwa sebagian mahasiswa mulai merasakan efek iritan dari polusi udara di kampus. Keluhan pusing atau kelelahan setelah menghirup udara kampus menunjukkan variasi yang lebih besar, dengan rata-rata 2.38 namun simpangan baku yang cukup tinggi (1.308). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar responden (modus 1) jarang mengalami gejala ini, terdapat kelompok mahasiswa yang lebih sensitif dan sering merasakan dampak tersebut. Data ini mengisyaratkan bahwa efek polusi udara terhadap kesejahteraan mahasiswa mungkin bersifat individual, tergantung pada tingkat sensitivitas dan lamanya paparan.

Tabel 26. Dampak Kesehatan yang Dirasakan

Keterangan	Rata-rata	Modus	Median	Sim.Baku	Min.	Max.
Saya mengalami gejala batuk atau sesak napas saat berada di dalam area kampus	1.94	1	3	0.935	1	4
Saya merasa iritasi pada mata, hidung, atau tenggorokan saat berada di dalam area kampus.	2.28	2	3	0.948	1	4
Saya merasa pusing atau lelah setelah menghirup udara di dalam area kampus.	2.38	1	2	1.308	1	5
Saya khawatir tentang dampak jangka panjang paparan gas NO ₂ terhadap kesehatan saya.	3.52	4	4	1.165	1	5

Yang paling tinggi adalah tingkat kekhawatiran akan dampak jangka panjang, dengan rata-rata mencapai 3.52 dan modus 4. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun gejala fisik langsung mungkin belum terlalu parah, kesadaran akan potensi risiko kesehatan jangka panjang akibat paparan NO₂ sudah cukup tinggi di mahasiswa. Jarak antara gejala aktual yang dirasakan dan kekhawatiran kesehatan ini mungkin mencerminkan kesadaran akan bahaya polusi udara yang bersifat kumulatif dan tidak langsung terlihat.

4.2.1.4 Persepsi Responden Terhadap Risiko Kesehatan

Berdasarkan data yang diperoleh, persepsi responden terhadap risiko kesehatan akibat paparan gas NO₂ di kampus cenderung berada pada tingkat

sedang hingga tinggi. Rata-rata skor persepsi risiko kesehatan secara umum adalah 3,5 (skala 1-5), dengan modus 3 dan median 3,5, menunjukkan bahwa sebagian besar responden menganggap paparan NO₂ di kampus memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap kesehatan. Selain itu, responden juga meyakini bahwa paparan gas NO₂ dapat memicu penyakit pernapasan kronis, dengan rata-rata skor kepercayaan mencapai 3,82 (modus 4), yang mengindikasikan keyakinan yang lebih tinggi terhadap dampak negatif NO₂.

Hal ini diperkuat oleh pengalaman langsung responden, di mana rata-rata skor keluhan seperti pusing atau kelelahan setelah menghirup udara di kampus berada pada 3,54 (modus 4). Artinya, sebagian besar responden merasakan gejala fisik yang mengganggu, memperkuat persepsi akan adanya risiko kesehatan. Sebaran data yang relatif konsisten (standar deviasi sekitar 0,7-0,8) menunjukkan sedikit variasi jawaban, sehingga dapat disimpulkan bahwa persepsi ini cukup merata di antara responden.

Tabel 27. Persepsi Responden Terhadap Risiko Kesehatan

Keterangan	Rata-rata	Modus	Median	Sim.Baku	Min.	Max.
Menurut Anda, seberapa besar risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan gas NO ₂ di kampus?	3.5	3	3.5	0.839	2	5
Seberapa besar Anda percaya bahwa paparan gas NO ₂ dapat menyebabkan penyakit pernapasan kronis?	3.82	4	4	0.691	2	5
Saya merasa pusing atau lelah setelah menghirup udara di dalam area kampus.	3.54	4	4	0.838	2	5

Secara keseluruhan, hasil survei mengungkapkan bahwa masyarakat kampus cukup aware dan khawatir terhadap dampak polusi NO₂, baik berdasarkan keyakinan medis maupun pengalaman pribadi. Temuan ini dapat menjadi dasar untuk evaluasi lebih lanjut mengenai kualitas udara di lingkungan kampus.

4.2.2 Analisis Paparan NO₂

Analisis paparan atau penilaian eksposur merupakan komponen penting dalam penelitian kualitas udara karena memberikan pemahaman menyeluruh tentang interaksi antara polutan dan populasi yang terpapar. Dalam konteks

penelitian hubungan volume kendaraan dengan kadar NO₂ di kampus UNJA Mendalo, analisis ini memungkinkan peneliti untuk mengkuantifikasi sejauh mana mahasiswa terpapar oleh polutan tersebut dalam aktivitas sehari-hari mereka. Penilaian eksposur tidak hanya melihat konsentrasi polutan di udara, tetapi juga mempertimbangkan faktor durasi, frekuensi, dan rute pergerakan warga kampus yang mempengaruhi tingkat paparan aktual. Analisis ini menjadi dasar krusial untuk menilai risiko kesehatan, mengingat paparan NO₂ yang berulang dan berkepanjangan dapat berdampak pada sistem pernapasan dan kardiovaskular.

Data dan informasi yang diperlukan untuk menghitung paparan mencakup semua variabel yang tercantum dalam persamaan 4 berikut ini.

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan :

Data	Keterangan	Sumber Data
I	Asupan (intake), mg/kg/hari	-
R	laju asupan atau konsumsi, M3/jam untuk inhalasi,	Menggunakan nilai 20 m3 (Kolluru et al., 1996) dengan konversi menjadi 0,83 m ³ /jam.
C	konsentrasi <i>risk agent</i> .	Konsentrasi PM10 dan PM2,5 di udara / C (mg/m ³)
fE	waktu pajanan.	Kuesioner
tE	frekwensi pajanan.	Kuesioner
Dt	durasi pajanan, tahun (real time atau proyeksi, 30 tahun untuk nilai default resi- densial).	Kuesioner
t _{avg}	Periode waktu rata-rata	(Dt x 365) hari/tahun untuk zat nonkarsinogen, 70 x 365 hari/tahun untuk zat karsino- gen)
Wb	Berat badan, kg	Kuesioner

Penilaian pajanan dilakukan dengan menghitung asupan NO₂ dengan memasukkan nilai variabel yang diperlukan untuk perhitungan. Konsentrasi yang digunakan mengacu pada data NO₂ yang diperoleh dari pemantauan udara ambien yang telah diukur sebelumnya. Penilaian pajanan bertujuan untuk menghitung dosis *risk agent* NO₂ yang diterima oleh setiap responden sebagai

nilai intake (I). Perhitungan pajanan non karsinogenik digunakan untuk memperkirakan dampak nonkanker yang mungkin terjadi pada responden. Berdasarkan data primer yang telah dikumpulkan, berikut adalah contoh perhitungan untuk salah satu responden mahasiswa.

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Diketahui

$$C \text{ NO}_2 = 71,75 \mu\text{g}/\text{Nm}^3 = 0,072 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$R = 0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$t_E = 8 \text{ jam/ hari}$$

$$f_E = 224 \text{ hari /tahun}$$

$$D_t = 2,5 \text{ tahun, } 30 \text{ tahun}(\text{lifetime})$$

$$W_b = 52 \text{ kg}$$

$$T_{AVG} = 30 \times 365 \text{ hari/tahun}$$

$$I \text{ Realtime} = \frac{0,072 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 8 \text{ jam/hari} \times 224 \text{ hari/tahun} \times 2,5 \text{ tahun}}{52 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= 0,00047 \text{ mg/kg/hari}$$

$$I \text{ Lifetime} = \frac{0,072 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times 0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 8 \text{ jam/hari} \times 224 \text{ hari/tahun} \times 30 \text{ tahun}}{52 \text{ kg} \times 30 \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= 0,005642 \text{ mg/kg/hari}$$

Karakteristik risiko dinilai menggunakan dua parameter, yaitu *Risk Quotient* (RQ) untuk efek non-karsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik. RQ dihitung dengan membagi nilai *Intake* non-karsinogenik (Ink) dengan nilai ambang referensi (*Reference Dose* [RfD] atau *Reference Concentration* [RfC]) sesuai dengan pedoman ATSDR (1998). Adapun langkah-langkah perhitungan RQ adalah sebagai berikut:

$$RQ = \frac{Ink}{RfC}$$

Ink = Intake non-karsinogenik (mg/kg/hari)

RfC = Konsentrasi referensi (mg/kg/hari)

Analisis hubungan dosis-respon diterapkan untuk mengevaluasi tingkat risiko (RQ) akibat paparan polutan. Nilai $RQ \leq 1$ menunjukkan bahwa mahasiswa tidak mengalami risiko kesehatan signifikan dari paparan terhadap Nitrogen Dioksida (NO_2), sedangkan $RQ > 1$ mengindikasikan potensi risiko. Dosis referensi (RfC) untuk NO_2 ditetapkan sebesar $0,02 \text{ mg}/\text{kg}/\text{hari}$ oleh *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS) USEPA tahun 2006. Perlu diperhatikan bahwa RfD/RfC

bukanlah batas aman mutlak, melainkan acuan ilmiah. Paparan yang melebihi nilai referensi ini meningkatkan kemungkinan efek kesehatan merugikan, namun tidak serta merta menyebabkan gangguan. Sebaliknya, paparan di bawah nilai referensi pun tidak sepenuhnya bebas risiko, mengingat dalam penetapan RfD/RfC telah dimasukkan berbagai faktor ketidakpastian. Senyawa dengan nilai RfD/RfC yang rendah menandakan potensi toksisitas yang lebih tinggi.

$$RQ \text{ Realtime} = \frac{0,00047\text{mg/kg/hari}}{0,02\text{mg/kg/hari}}$$

$$= 0,0235$$

$$RQ \text{ lifetime} = \frac{0,005642\text{mg/kg/hari}}{0,02\text{mg/kg/hari}}$$

$$= 0,2821$$

Berdasarkan perhitungan RQ, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jika $RQ \leq 1$, maka konsentrasi zat berbahaya tidak berisiko untuk menyebabkan efek kesehatan non-karsinogenik.
2. Jika $RQ \geq 1$, maka konsentrasi zat berbahaya berpotensi menimbulkan efek kesehatan non-karsinogenik.

Berdasarkan hasil perhitungan risiko kesehatan terhadap paparan NO_2 di lokasi sampling, diperoleh nilai *Risk Quotient* (RQ) yang menunjukkan tingkat risiko berbeda untuk paparan jangka pendek dan jangka panjang. Untuk paparan jangka pendek (realtime), nilai RQ sebesar 0,0235 mengindikasikan bahwa tingkat paparan saat ini hanya mencapai 2,35% dari nilai referensi (RfC), sehingga dapat dikategorikan sebagai sangat aman dan tidak menimbulkan risiko kesehatan akut. Sementara itu, untuk paparan jangka panjang (*lifetime*), nilai RQ sebesar 0,2821 menunjukkan bahwa akumulasi paparan seumur hidup mencapai 28,21% dari nilai referensi, yang masih berada di bawah ambang batas risiko namun sudah perlu mendapatkan perhatian. Hasil kedua nilai tersebut masih di bawah 1 yang menandakan kondisi aman, hasil ini mengindikasikan bahwa paparan kumulatif jangka panjang memiliki potensi risiko yang lebih tinggi dibandingkan paparan sesaat, sehingga disarankan untuk dilakukan pemantauan berkala dan penerapan tindakan pencegahan untuk meminimalkan akumulasi paparan NO_2 .

Tabel 28. *Risk Quotient* (RQ) *Realtime* dan *Lifetime* NO_2

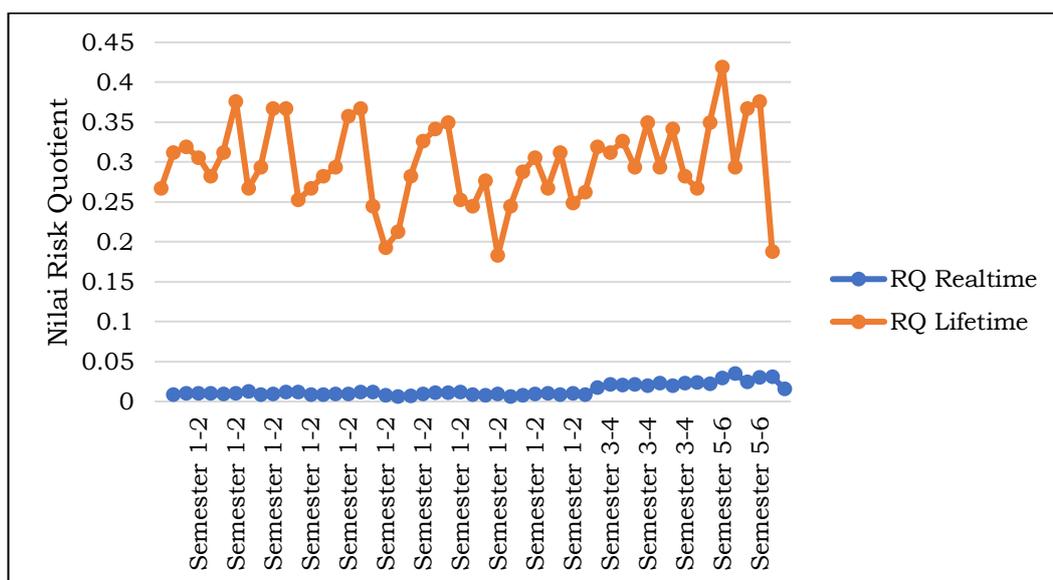
Dt	Berat Badan (Wb)	I <i>Realtime</i>	RfC	RQ	I <i>Lifetime</i>	RQ
Semester 1-2	55	0.00018	0.020	0.0089	0.0053	0.2667
	47	0.00021		0.0104	0.0062	0.3121
	46	0.00021		0.0106	0.0064	0.3189
	48	0.00020		0.0102	0.0061	0.3056
	52	0.00019		0.0094	0.0056	0.2821

Dt	Berat Badan (Wb)	I <i>Realtime</i>	RfC	RQ	I <i>Lifetime</i>	RQ
	47	0.00021		0.0104	0.0062	0.3121
	39	0.00025		0.0125	0.0075	0.3762
	55	0.00018		0.0089	0.0053	0.2667
	50	0.00020		0.0098	0.0059	0.2934
	40	0.00024		0.0122	0.0073	0.3667
	40	0.00024		0.0122	0.0073	0.3667
	58	0.00017		0.0084	0.0051	0.2529
	55	0.00018		0.0089	0.0053	0.2667
	52	0.00019		0.0094	0.0056	0.2821
	50	0.00020		0.0098	0.0059	0.2934
	41	0.00024		0.0119	0.0072	0.3578
	40	0.00024		0.0122	0.0073	0.3667
	60	0.00016		0.0081	0.0049	0.2445
	76	0.00013		0.0064	0.0039	0.1930
	69	0.00014		0.0071	0.0043	0.2126
	52	0.00019		0.0094	0.0056	0.2821
	45	0.00022		0.0109	0.0065	0.3260
	43	0.00023		0.0114	0.0068	0.3412
	42	0.00023		0.0116	0.0070	0.3493
	58	0.00017		0.0084	0.0051	0.2529
	60	0.00016		0.0081	0.0049	0.2445
	53	0.00018		0.0092	0.0055	0.2768
	80	0.00012		0.0061	0.0037	0.1834
	60	0.00016		0.0081	0.0049	0.2445
	51	0.00019		0.0096	0.0058	0.2876
	48	0.00020		0.0102	0.0061	0.3056
	55	0.00018		0.0089	0.0053	0.2667
	47	0.00021		0.0104	0.0062	0.3121
	59	0.00017		0.0083	0.0050	0.2486
Semester 3-4	56	0.00035		0.0175	0.0052	0.2620
	46	0.00043		0.0213	0.0064	0.3189
	47	0.00042		0.0208	0.0062	0.3121
	45	0.00043		0.0217	0.0065	0.3260
	50	0.00039		0.0196	0.0059	0.2934
	42	0.00047		0.0233	0.0070	0.3493
	50	0.00039		0.0196	0.0059	0.2934
	43	0.00045		0.0227	0.0068	0.3412
Semester 5-6	52	0.00047		0.0235	0.0056	0.2821
	55	0.00044		0.0222	0.0053	0.2667
	42	0.00058		0.0291	0.0070	0.3493
	35	0.00070		0.0349	0.0084	0.4191
	50	0.00049		0.0244	0.0059	0.2934
	40	0.00061		0.0306	0.0073	0.3667
	39	0.00063		0.0313	0.0075	0.3762
	78	0.00031		0.0157	0.0038	0.1881

Berdasarkan data paparan NO₂ yang terdapat dalam tabel 28, dengan responden mahasiswa di lingkungan kampus Universitas Jambi Mendalo, terlihat

perbedaan tingkat risiko paparan yang cukup signifikan antar semester. Pada mahasiswa semester 1-2, nilai *Risk Quotient* (RQ) *realtime* berkisar antara 0.0089 hingga 0.0125, menunjukkan tingkat paparan jangka pendek yang masih sangat aman karena jauh di bawah nilai referensi (RfC) 0.020 mg/kg/hari. Namun untuk paparan jangka panjang (*lifetime*), nilai RQ pada kelompok ini mencapai 0.1834-0.3762, mengindikasikan bahwa akumulasi paparan seumur hidup telah mencapai 18-38% dari batas aman.

Pada mahasiswa semester 3-4, terlihat peningkatan risiko dengan RQ *realtime* 0.0175-0.0233 dan RQ *lifetime* 0.2620-0.3493. Peningkatan ini mungkin disebabkan oleh aktivitas akademik yang lebih intensif seperti praktikum lapangan atau frekuensi mobilitas yang lebih tinggi di lingkungan kampus. Adapun mahasiswa semester 5-6 menunjukkan nilai RQ tertinggi, khususnya untuk paparan *realtime* (0.0157-0.0349) dan *lifetime* (0.1881-0.4191). Salah satu kasus mencolok pada semester akhir menunjukkan RQ *lifetime* mencapai 0.4191 atau sekitar 42% dari batas aman, yang perlu menjadi perhatian khusus.



Gambar 9. Nilai RQ berdasarkan Semester responden

Grafik pada gambar 9, menunjukkan bahwa nilai RQ *Realtime* secara signifikan lebih tinggi dibandingkan RQ *Lifetime* di seluruh kelompok semester. RQ *Realtime* berkisar antara 0,20 hingga 0,42, menunjukkan adanya paparan jangka pendek yang cukup tinggi terhadap gas NO₂. Fluktuasi yang tampak pada grafik mengindikasikan adanya perbedaan individu atau variasi kondisi lingkungan yang memengaruhi tingkat paparan sesaat.

Sebaliknya, nilai RQ *Lifetime* sangat rendah dan stabil, berada pada rentang 0,005 hingga 0,035. Nilai ini mencerminkan estimasi risiko kesehatan jika paparan NO₂ berlangsung terus-menerus sepanjang hidup. Meskipun

rendah, terdapat kecenderungan peningkatan nilai RQ *Lifetime* pada mahasiswa semester (semester 5–6), yang kemungkinan disebabkan oleh durasi paparan yang lebih lama atau aktivitas di luar ruangan yang lebih tinggi.

Tabel 29. Persentase Nilai *Risk Quotient* (RQ) Paparan

<i>Risk Quotient</i> (RQ)		Jumlah Responden	Persentase
RQ <i>Realtime</i>	$RQ \leq 1$	50	100%
RQ <i>Lifetime</i>	$RQ \leq 1$	50	100%

Secara keseluruhan dalam tabel 29, meskipun semua nilai RQ masih di bawah 1 yang menandakan kondisi aman, terdapat tren peningkatan risiko seiring dengan peningkatan semester. Hal ini mengindikasikan bahwa akumulasi paparan polusi udara di lingkungan kampus dapat menjadi faktor risiko kesehatan yang perlu diwaspadai, terutama bagi mahasiswa yang telah menempuh studi lebih dari 4 semester. Hasil perhitungan *Risk Quotient* (RQ) untuk NO_2 menunjukkan bahwa baik untuk RQ *Realtime* maupun *Lifetime*, tidak ada responden yang berisiko mengalami efek kesehatan non-karsinogenik (B) dengan $RQ \geq 1$. Semua responden dinyatakan tidak berisiko terkena masalah kesehatan non-karsinogenik (TB) dengan $RQ \leq 1$ (Rahmatika, 2017). Oleh karena itu, tidak ada kebutuhan mendesak untuk mengambil langkah preventif dalam mengurangi dampak kesehatan yang diakibatkan oleh paparan NO_2 .

4.2.2.1 Manajemen Risiko Non-Karsinogenik

Berdasarkan perhitungan RQ *Lifetime* di Kampus Unja Mendalo, tidak diperlukan pengendalian atau manajemen risiko untuk mengurangi tingkat risiko. Dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), prinsip pengelolaan risiko diterapkan ketika nilai $RQ \geq 1$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tingkat risiko untuk mahasiswa memiliki nilai $RQ \leq 1$. Ini menandakan bahwa mahasiswa di Kampus Unja Mendalo tidak mengalami paparan risiko yang signifikan terkait NO_2 , sehingga belum diperlukan penerapan manajemen risiko pada tahap ini.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar responden memiliki persepsi sedang hingga tinggi terhadap risiko kesehatan akibat paparan gas NO_2 di lingkungan kampus. Persepsi risiko ini sangat penting karena secara langsung memengaruhi kesadaran individu dan kolektif terhadap potensi bahaya lingkungan, serta mendorong tindakan preventif baik secara personal maupun institusional. Dalam konteks manajemen risiko lingkungan, persepsi risiko berfungsi sebagai indikator awal untuk merancang strategi intervensi yang efektif.

Ketika persepsi risiko tinggi, maka urgensi untuk melakukan mitigasi, seperti peningkatan ventilasi ruang kelas, pengelolaan lalu lintas kampus, atau edukasi terkait polusi udara, menjadi semakin kuat.

4.2.2.2 Risiko Kesehatan akibat Paparan NO₂

Berdasarkan perhitungan *Risk Quotient* (RQ) di Kampus Unja Mendalo, tidak diperlukan pengendalian atau manajemen risiko tambahan untuk mengurangi risiko kesehatan, karena nilai RQ untuk NO₂ menunjukkan $RQ \leq 1$. Ini menandakan bahwa tingkat risiko terhadap paparan gas tersebut masih dalam batas aman. Berdasarkan prinsip Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), manajemen risiko hanya diperlukan jika nilai $RQ \geq 1$, yang menunjukkan risiko signifikan terhadap kesehatan. Dengan demikian, mahasiswa atau civitas akademika disarankan untuk menjaga kualitas udara ambien agar tetap baik di Kampus Unja Mendalo. Meskipun tingkat risiko yang terpantau saat ini masih tergolong rendah, paparan gas NO₂ tetap berpotensi menimbulkan efek kesehatan yang signifikan.

Berdasarkan pedoman WHO (2011), paparan dalam jangka pendek dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan seperti ISPA, pneumonia, serta masalah pada sistem kardiovaskular. Sementara itu, paparan kronis dalam jangka panjang berisiko memicu kondisi yang lebih serius, termasuk asma persisten, penurunan kapasitas paru-paru, hingga perkembangan kanker paru-paru. Faktor durasi paparan memegang peranan krusial, di mana tenaga kerja yang terpapar polutan lebih dari 8 jam per hari menunjukkan kerentanan yang lebih tinggi terhadap berbagai gangguan pernapasan.

4.2.2.3 Integrasi Persepsi Risiko dan Nilai *Risk Quotient* (RQ)

Berdasarkan hasil survei, mayoritas responden memiliki persepsi risiko sedang terhadap pencemaran udara oleh gas NO₂ di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo. Mereka menyadari bahwa paparan gas tersebut dapat berdampak pada kesehatan, terutama sistem pernapasan, meskipun tidak semua responden secara langsung merasakan gejalanya. Sementara itu, hasil perhitungan *Risk Quotient* (RQ) menunjukkan bahwa seluruh nilai $RQ < 1$, baik untuk skenario realtime maupun lifetime, yang mengindikasikan bahwa paparan NO₂ saat ini masih berada dalam ambang aman dan tidak menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang signifikan.

Temuan ini menunjukkan adanya perbedaan antara persepsi subjektif dan risiko objektif. Persepsi risiko yang cenderung lebih tinggi dari hasil perhitungan ilmiah RQ dapat disebabkan oleh faktor psikologis seperti

kekhawatiran berlebih, informasi yang belum akurat, atau pengalaman pribadi. Meski demikian, tingginya persepsi risiko dapat menjadi keuntungan dalam konteks manajemen risiko karena mendorong kewaspadaan, keterlibatan, dan penerimaan terhadap intervensi lingkungan. Oleh karena itu, hasil ini menegaskan pentingnya pendekatan yang menggabungkan penilaian risiko secara kuantitatif (RQ) dengan pemahaman terhadap persepsi masyarakat untuk menghasilkan kebijakan pengelolaan kualitas udara yang tepat sasaran, partisipatif, dan berkelanjutan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan berdasarkan hasil dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Konsentrasi gas Nitrogen Dioksida (NO_2) di lingkungan Kampus Universitas Jambi Mendalo masih berada dalam ambang batas baku mutu udara ambien berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, yaitu di bawah $100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil pengukuran konsentrasi NO_2 tertinggi tercatat sebesar $52,98 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$, sedangkan nilai terendah adalah $23,37 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pola konsentrasi cenderung lebih tinggi pada waktu pagi dibandingkan siang hari, yang diduga disebabkan oleh peningkatan aktivitas kendaraan serta kondisi meteorologi yang kurang mendukung proses dispersi gas pada pagi hari.
2. Terdapat hubungan antara volume kendaraan dan faktor meteorologi (suhu, kelembapan, dan kecepatan angin) terhadap konsentrasi NO_2 di udara ambien Kampus Universitas Jambi Mendalo. Secara umum, volume kendaraan menunjukkan korelasi positif sedang dengan konsentrasi NO_2 ($r = 0,552$), meskipun tidak signifikan secara statistik ($p\text{-value} = 0,156$) akibat keterbatasan jumlah sampel. Sementara itu, hasil analisis regresi menunjukkan bahwa suhu memiliki hubungan negatif dengan konsentrasi NO_2 , sedangkan kelembapan dan kecepatan angin cenderung berkorelasi positif. Nilai koefisien determinasi (R^2) masing-masing faktor menunjukkan kontribusi sedang terhadap variasi konsentrasi NO_2 , yaitu $R^2 = 0,3332$ untuk kelembapan, $R^2 = 0,3004$ untuk kecepatan angin, dan $R^2 = 0,3026$ untuk volume kendaraan. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor meteorologi dan volume kendaraan turut berperan dalam memengaruhi fluktuasi konsentrasi NO_2 di lingkungan kampus, meskipun terdapat pengaruh dari faktor eksternal lainnya yang belum teridentifikasi sepenuhnya dalam penelitian ini.
3. Hasil analisis risiko kesehatan berdasarkan perhitungan *Risk Quotient* (RQ) menunjukkan bahwa seluruh nilai RQ baik secara realtime maupun lifetime berada di bawah angka 1 ($RQ < 1$), yang berarti paparan gas NO_2 terhadap civitas akademika tidak menimbulkan risiko non-karsinogenik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat paparan, tingkat konsentrasinya masih dalam kategori aman dan tidak menyebabkan

dampak kesehatan yang signifikan berdasarkan parameter toksikologi lingkungan yang digunakan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, maka disarankan agar pemantauan kualitas udara di lingkungan kampus dilakukan secara berkelanjutan. Langkah ini penting untuk mencegah peningkatan polusi udara sekaligus meminimalkan risiko kesehatan bagi civitas akademika Universitas Jambi Mendalo.

Agar pemantauan lebih efektif, perlu dilakukan:

1. Penambahan titik sampling untuk mencakup area yang lebih representatif.
2. Perpanjangan durasi pengujian guna mengidentifikasi variasi polutan secara temporal (misalnya perbedaan jam, hari, atau musim).
3. Peningkatan jumlah responden survei agar data persepsi risiko kesehatan lebih akurat dan komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Akdemir, A. (2014). *The creation of pollution mapping and measurement of ambient concentration of sulfur dioxide and nitrogen dioxide with passive sampler. Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 1(2), 111.
- Andry, P. (2012). Degradasi gas NO₂ dengan proses adsorpsi dan fotokatalitik menggunakan zeolit alam teraktivasi yang diintegrasikan dengan TiO₂ untuk aplikasi masker kesehatan (Laporan Penelitian).
- Any Juliani, A. U. F. (2016). Analisis pengaruh kepadatan lalu lintas terhadap kualitas udara di kawasan kampus terpadu Universitas Islam Indonesia. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 8(2), 118–126.
- Apriawati, E., & Kiswandono, A. A. (2017). Kajian indeks standar polusi udara (ISPU) nitrogen dioksida (NO₂) di tiga lokasi Kota Bandar Lampung. *Analytical and Environmental Chemistry*, 2(1), 42–51.
- Arista, G. (2015). Analisis risiko kesehatan paparan nitrogen dioksida dan sulfur dioksida pada pedagang kaki lima di Terminal Ampera Palembang tahun 2015 (Skripsi, Universitas Sumatera Utara).
- Asiva Noor Rachmayani. (2015). Estimasi emisi berdasarkan kecepatan kendaraan di beberapa ruas jalan Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6, 6.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 7119-2:2017: Udara ambien – Bagian 2: Cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan metoda Griess Saltzman menggunakan spektrofotometer*. Standar Nasional Indonesia.
- Bauerová, P., Šindelářová, A., Rychlík, Š., Novák, Z., & Keder, J. (2020). *Low-cost air quality sensors: One-year field comparative measurement of different gas sensors and particle counters with reference monitors at Tusimice Observatory. Atmosphere*, 11(5), Article 492.
<https://doi.org/10.3390/ATMOS11050492>
- Budiyono. (2015). Analisis variasi diurnal ozon dan precursornya pada musim kemarau dan hujan di Bandung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2, 165–175.
- Cichowicz, R., Wielgosiński, G., & Fetter, W. (2017). Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6319-2>
- Darmawan, R. (2018). Analisis risiko kesehatan lingkungan kadar NO₂ serta keluhan kesehatan petugas pemungut karcis tol. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 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>
- Dwirahmawati, F., Nasrullah, N., & Sulistyantara, B. (2018). Analisis perubahan konsentrasi nitrogen dioksida (NO₂) pada area bervegetasi dan tidak bervegetasi di jalan simpang susun. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 10(1), 13–18. <https://doi.org/10.29244/jli.v10i1.18356>
- Fahmi, M. H. (2019). *Analisis kualitas udara ambien di Kota Lhokseumawe* (Skripsi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry).
- Fitri, S. (2006). Konsentrasi dan komposisi total suspended particulate (TSP) pada udara ambien Kampus Universitas Andalas Limau Manis dan sekitarnya (Laporan Penelitian).
- Male, Y. T. (2021). Analisis tingkat pencemaran gas CO, NO₂, dan SO₂ pada daerah Batu Merah Kota Ambon. *Akta Kimia Indonesia*, 6(1), 58. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v6i1.8473>
- Nurfadila, E., Nuddin, A., Majid, M., Nurlinda, N., Usman, U., & Sudarman, D. (2023). Analisis dampak paparan nitrogen dioksida terhadap kejadian penyakit pada petugas parkir di Kota Parepare. *Jurnal Ilmiah Manusia dan Kesehatan*, 6(2), 348–357. <https://doi.org/10.31850/makes.v6i2.2154>
- Pujaardana, A. R. (2016). *Studi pemanfaatan nitrogen dioksida (NO₂) dari satelit GOME 2 Metop-A untuk pembuatan model NO₂ ambien dan penggunaan lahan* (Tesis).
- Rahmatika, N. I. (2017). Analisis risiko paparan nitrogen dioksida dari polutan ambien terhadap kesehatan masyarakat di Kabupaten Magelang tahun 2015 (Laporan Penelitian).
- Riwianto, M., & Sani, F. M. (2017). Analisis risiko kesehatan paparan gas nitrogen dioksida (NO₂) pada petugas parkir di basement Plaza Andalas. *Jurnal Kesehatan*, 8(3), 441. <https://doi.org/10.26630/jk.v8i3.636>
- Rumselly, K. U. (2016). Analisis risiko kesehatan lingkungan kualitas udara ambien di Kota Ambon. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(2), 158–163.
- Voiculescu, M., Constantin, D. E., Condurache-Bota, S., Călmuc, V., Roșu, A., & Bălănică, C. M. D. (2020). *Role of meteorological parameters in the diurnal and seasonal variation of NO₂ in a Romanian urban environment. International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), Article 6228. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176228>
- Wibowo, S. A. (2025). Penggunaan EViews dalam pengujian data panel untuk penelitian akuntansi: Pendekatan konseptual dan aplikatif. *Riset*

Akuntansi dan Bisnis Indonesia, 9(1).

<https://doi.org/10.18196/rabin.v9i1.26898>

Wiyandari, M. (2010). *Hubungan volume kendaraan terhadap konsentrasi polutan NOx di udara* (Laporan Penelitian).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kondisi Lapangan pada saat pengambilan sampel gas NO₂



Kondisi cuaca pada tanggal 30 oktober 2024, pukul 12.00 WIB



Kondisi cuaca pada tanggal 29 oktober 2024, pukul 08.30 WIB



Kondisi cuaca pada tanggal 5 November 2024, pukul 12.00 WIB



Kondisi Lapangan parkir titik sampling 2, pada tanggal 6 November 2024

Lampiran 2. Pembuatan Larutan Standar



Alat-alat pembuatan larutan



Absorban NO₂



Salah satu proses pembuatan larutan standar



Sampel dan Larutan Standar



Penimbangan Natrium Nitrit (NaNO₂)

Lampiran 3. Kuesioner Penelitian

"Analisis Konsentrasi Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Dampaknya terhadap Risiko Kesehatan di Kampus Universitas Jambi Mendalo"

Perkenalkan saya Dalton Hutasoit_NIM M1D120033 dari prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi.

Saat ini, saya sedang melakukan penelitian dengan judul "**Analisis Risiko Kesehatan dan Konsentrasi Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Kampus Universitas Jambi Mendalo**".

Tujuan kuesioner ini adalah untuk Menganalisis paparan gas NO₂ terhadap risiko kesehatan civitas akademik di Kampus Universitas Jambi Mendalo.

Saya mohon partisipasi Anda untuk mengisi kuesioner ini. Data yang Anda berikan akan sangat berharga bagi penelitian ini dan akan dijaga kerahasiaannya.

Untuk informasi lebih lanjut, Anda dapat menghubungi saya melalui:

- Email: Daltonhutasoit18@gmail.com

- Telepon: 081538758201

Terima kasih atas waktu dan partisipasi Anda.

* Menunjukkan pertanyaan yang wajib diisi

Email *

Data Diri Responden

1. Nama *

2. Jenis Kelamin *

Tandai satu oval saja.

Laki-laki

Perempuan

3. Usia *

Tandai satu oval saja.

< 20 Tahun

20 -25 Tahun

> 25 Tahun

4. Berat Badan *

5. Prodi/fakultas *

6. Semester perkuliahan saat ini *

Tandai satu oval saja.

Semester 1-2

- Semester 3-4
- Semester 5-6
- Semester 7-8
- Semester >8

7. Apakah Anda pernah mengalami gejala berikut saat berada di dalam *
 kampus? *(Bisa pilih lebih dari satu)*
Centang semua yang sesuai.

- Sesak napas
- Alergi/peradangan tenggorokan
- Mata perih/berair
- Tidak pernah mengalami gejala
- Yang lain: _____

8. Seberapa sering gejala tersebut muncul? *
Tandai satu oval saja.

- Tidak pernah
- Jarang
- Kadang-kadang
- Sering
- Hampir setiap hari

9. Apakah Anda memiliki riwayat penyakit pernapasan seperti Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), Asma, Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK), Kanker Paru paru, Bronkitis, Paru-paru basah atau pneumonia)? *
Tandai satu oval saja.

- Ya
- Tidak

Bagian 1. Persepsi tentang Pencemaran Gas NO₂ di Lingkungan Kampus

Gas nitrogen dioksida (NO₂) merupakan senyawa berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam yang dihasilkan dari proses alami seperti kebakaran hutan dan petir, serta aktivitas manusia seperti emisi kendaraan bermotor dan industri. NO₂ berdampak serius pada kesehatan, terutama sistem pernapasan, menyebabkan iritasi saluran napas, batuk, sesak napas, dan memperburuk kondisi seperti asma. Paparan jangka panjang dapat meningkatkan risiko infeksi pernapasan dan penyakit paru-paru kronis pada manusia.

Petunjuk Pengisian

Silakan pilih jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman dan pendapat Anda berdasarkan skala berikut:

- 1 = Sangat Tidak Setuju
- 2 = Tidak Setuju
- 3 = Netral
- 4 = Setuju
- 5 = Sangat Setuju

1. Saya sebelumnya mengetahui bahwa gas NO₂ (Nitrogen Dioksida) adalah salah satu polutan udara yang berbahaya. *

Tandai satu oval saja.

Ya

Tidak

2. Saya merasa bahwa kadar gas NO₂ di lingkungan kampus cukup tinggi. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

3. Saya percaya bahwa paparan gas NO₂ dapat memengaruhi kesehatan mahasiswa. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

4. Saya merasa pihak kampus sudah melakukan upaya untuk mengurangi emisi gas NO₂. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

Bagian 2. Paparan terhadap Gas NO₂

Petunjuk Pengisian:

Silakan pilih jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman dan pendapat Anda berdasarkan skala berikut:

1 = Tidak Pernah

2 = Jarang

3 = Kadang-Kadang

4 = Sering

5 = Selalu

5. Saya menghabiskan waktu di area kampus yang dekat dengan sumber emisi gas NO₂ (area parkir). *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

6. Saya sering menghirup udara yang berbau tidak sedap atau terasa pengap di kampus. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

7. Saya menggunakan masker saat berada di area parkir. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

Bagian 3. Dampak Kesehatan yang Dirasakan

Petunjuk Pengisian:

Silakan pilih jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman dan pendapat Anda berdasarkan skala berikut:

1 = Tidak Pernah

2 = Jarang

3 = Kadang-Kadang

4 = Sering

5 = Selalu

8. Saya mengalami gejala batuk atau sesak napas saat berada di dalam area kampus. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

9. Saya merasa iritasi pada mata, hidung, atau tenggorokan saat berada di dalam area kampus. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

10. Saya merasa pusing atau lelah setelah menghirup udara di dalam area kampus. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

11. Saya khawatir tentang dampak jangka panjang paparan gas NO₂ terhadap kesehatan saya. *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

Bagian 4. Persepsi Risiko Kesehatan

Petunjuk Pengisian:

Silakan pilih jawaban yang paling sesuai dengan pengalaman dan pendapat Anda berdasarkan skala berikut:

1 = Sangat Rendah

2 = Rendah

3 = Sedang

4 = Tinggi

5 = Sangat Tinggi

12. Menurut Anda, seberapa besar risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan gas NO₂ di kampus? *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

13. Seberapa besar Anda percaya bahwa paparan gas NO₂ dapat menyebabkan penyakit pernapasan kronis? *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5

14. Seberapa besar Anda percaya bahwa paparan gas NO₂ dapat memengaruhi performa akademik Anda? *

Tandai satu oval saja.

1

2

3

4

5