

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUALITAS UDARA DALAM RUANG
(STUDI KASUS : BENGKEL MOBIL NON RESMI X
YOGYAKARTA)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**FITASYA ANSHELIA RAIHANTAMI
19513154**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR
ANALISIS KUALITAS UDARA DALAM RUANG
(STUDI KASUS : BENGKEL MOBIL NON RESMI X
YOGYAKARTA)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik
Lingkungan



Disusun Oleh:


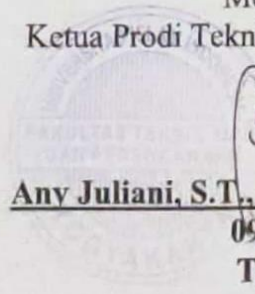
Fitasya Anshelia Raihantami
19513154
Disetujui,

Dosen Pembimbing :

Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.
195130102

Tanggal: 13 Desember 2023

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng)., Ph.D.
095130401

Tanggal : 18/12/2023

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KUALITAS UDARA DALAM RUANG
(STUDI KASUS : BENGKEL MOBIL NON RESMI X
YOGYAKARTA)**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

**Hari : Rabu
Tanggal : 13 Desember 2023
Disusun Oleh :**

**FITASYA ANSHELIA RAIHANTAMI
19513154**

Tim Penguji :

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T.



Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.



Noviani Ima Wantoputri, S.T., M.T.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 18 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Fitasya Anshelia Raihantami

NIM : 19513154

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah hirobbil alamin, puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Analisis Kualitas Udara Dalam Ruang (Studi Kasus : Bengkel Mobil Non Resmi X Yogyakarta)**.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa selama proses pengerjaan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat sehat dan iman sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua Orang tua, Papa Teguh Santosa, Mama Meiana Dewi Utami, yang selalu memanjatkan doa, memberikan motivasi, memberikan semangat, dukungan, dan kasih sayangnya kepada penulis.
3. Adik penulis, Tesura Aureli Raihantami yang telah menghibur, memberikan semangat, dukungan, motivasi, dan selalu mendoakan penulis untuk segera menyelesaikan studi.
4. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng)., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Ibu Noviani Ima Wantoputri S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan saran yang bermanfaat selama pengerjaan Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia untuk ilmu, motivasi, nasihat yang telah diberikan selama proses pembelajaran.
7. Seluruh laboran laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

8. Valinia Syifanandita Nur Fauziah yang telah berjuang bersama semasa berkuliah menjadi tempat untuk bertukar pendapat, berkeluh kesah, hingga menjadi rekan seperjuangan dalam pengerjaan tugas akhir.
9. Teman-teman dari Teknik Lingkungan 2019, Ainul Islami, Muchlisa Daimatul Hasanah, Siti Khairunniah yang telah memberi warna dan cerita serta selalu memberikan semangat dan motivasi semasa berkuliah.
10. Akbar Hashiful Aqil selaku teman dekat penulis yang selalu memberikan semangat dan dorongan untuk penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Syifa Maulida Rawiana, Naifa Rafila, Nurrizky Ainni, teman semasa SMA yang sampai sekarang masih menjadi tempat untuk bertukar cerita dan selalu memberikan semangat.
12. Bapak Priyo selaku pemilik bengkel mobil X yang telah memberikan izin tempatnya dalam penyelesaian tugas akhir
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Penulis berharap semoga kebaikan dari semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT. Selanjutnya, dalam penyusunan laporan tugas akhir ini pun penulis tidak luput dari kesalahan, baik secara materi, penulisan, dan penyusunan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka dalam menerima kritik dan saran untuk laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 18 Desember 2023



Fitasya Anshelia Raihantami

ABSTRAK

Bengkel merupakan tempat dimana kendaraan bermotor bisa mendapatkan perawatan dan perbaikan. Beberapa perawatan dan perbaikan yang dapat dilakukan di bengkel adalah ganti oli, ganti aki, servis AC mobil, ganti ban, pengecekan oli, dan lainnya. Dalam aktivitas yang dilakukan di bengkel, tidak menutup kemungkinan dapat terjadi pencemaran udara didalamnya. Oleh karena itu penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis konsentrasi dan sebaran karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan yeast) pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta. Pengambilan sampel untuk parameter CO₂ menggunakan CO meter, kemudian untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan yeast) menggunakan Microbiological Air Sampler, dan untuk NO₂ menggunakan impinger dengan metode analisis data yang digunakan adalah metode Griess-Saltzman menggunakan spektrofotometer. Sampling dilakukan dengan membaginya dalam tiga hari kerja, dua akhir pekan, dan dalam tiga sesi yaitu sesi pagi, siang, dan sore. Pembuatan peta persebaran menggunakan software surfer 15. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata konsentrasi CO₂ tertinggi pada titik 3 di hari kerja yaitu sebesar 730 ppm. Hasil tersebut menunjukkan dibawah baku mutu yaitu 1000 ppm. Kemudian untuk rata-rata konsentrasi NO₂ tertinggi dihasilkan pada titik 3 di hari kerja yaitu sebesar 0,711 µg/m³. Hasil tersebut jauh dibawah baku mutu yaitu sebesar 200 µg/m³. Lalu untuk rata-rata konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan yeast) tertinggi dihasilkan pada titik 1 yaitu sebesar 5774,28 CFU/m³. Persebaran konsentrasi tertinggi CO₂ dan NO₂ ditunjukkan pada titik 3. Sedangkan persebaran konsentrasi tertinggi untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan yeast) ditunjukkan pada titik 1.

Kata kunci : Bengkel, CO₂, NO₂, Parameter Biologi, Surfer.

ABSTRACT

Car workshop is a place where vehicles can get maintenance and repairs. Some of the maintenance and repairs that can be served in the workshop are oil change, battery change, car air conditioner service, tire change, oil check, and others. In the activities carried out in the workshop, it is possible that air pollution can occur in it. Therefore the research was conducted with the aim of analyzing the concentration and distribution of carbon dioxide (CO₂), nitrogen dioxide (NO₂), and biological parameters (bacteria, fungi, and yeast) in the non-official car workshop area X Yogyakarta. Sampling for CO₂ parameters used a CO meter, then for biological parameters (bacteria, fungi, and yeast) used a Microbiological Air Sampler, and for NO₂ used an impinger with the data analysis method used was the Griess-Saltzman method using a spectrophotometer. Sampling was carried out by dividing it into three weekdays, two weekends and dividing it into three sessions, namely morning, afternoon and evening sessions. For making distribution maps using surfer 15 software. The results showed that the highest CO₂ concentration value was at point 3 on working days, which was 730 ppm. These results still below the quality standard of 1000 ppm. Then for the highest NO₂ concentration value at point 3 on working days, which was 0,711 µg/m³. These results are far below the quality standard of 200 µg/m³. Then for the highest biological parameters (bacteria, fungi, and yeast) concentration value at point 1, which was 5774,28 CFU/m³. The distribution of the highest concentration of CO₂ and NO₂ is shown at point 3. While the distribution of the highest concentrations for biological parameters (bacteria, fungi, and yeast) is shown at point 1.

Keywords : Biological parameters, Car workshop, CO₂, NO₂, Surfer.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pencemaran Udara dalam Ruang (<i>Indoor Air Pollution</i>).....	5
2.2 Sumber Pencemaran Udara	6
2.3 Karbon Dioksida (CO ₂).....	6
2.4 Nitrogen Dioksida (NO ₂)	7
2.5 Mikrobiologi dalam Ruangan	8
2.6 <i>Software Surfer 15</i>	9
2.7 Faktor Meteorologis yang Mempengaruhi Konsentrasi CO ₂ , NO ₂ , dan Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan <i>Yeast</i>).....	10
2.8 Penelitian Terdahulu	12
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Lokasi dan Waktu	19
3.2 Pengambilan Sampel.....	21
3.2.1 Pengukuran Karbon Dioksida (CO ₂).....	21
3.2.2 Pengukuran Nitrogen Dioksida (NO ₂)	21

3.2.3 Pengukuran Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan <i>Yeast</i>).....	22
3.3 Analisis Data	24
3.3.1 Perhitungan Konsentrasi NO ₂	25
3.3.2 Perhitungan Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan <i>Yeast</i>)	26
3.3.3 Penggunaan <i>Surfer</i>	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Deskripsi Lokasi Penelitian	27
4.2 Analisis Hasil Pengukuran Konsentrasi CO ₂	27
4.2.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO ₂	27
4.2.2 Sebaran Konsentrasi CO ₂	31
4.3 Analisis Hasil Pengukuran Konsentrasi NO ₂	33
4.3.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi NO ₂	33
4.3.2 Sebaran Konsentrasi NO ₂	37
4.4 Analisis Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan <i>Yeast</i>).....	39
4.4.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan <i>Yeast</i>).....	39
4.4.2 Sebaran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan <i>Yeast</i>)..	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3. 1 Waktu Pengambilan Sampel beserta Parameternya.....	20
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO ₂ disetiap Sesinya	28
Tabel 4. 2 Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi CO ₂ disetiap Titiknya	28
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Konsentrasi NO ₂ disetiap Sesinya.....	34
Tabel 4. 4 Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi NO ₂ disetiap Titiknya	34
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan Yeast) disetiap Titiknya	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tampilan Halaman Depan <i>Surfer</i> saat Digunakan	9
Gambar 2. 2 Contoh Penggunaan <i>Surfer</i>	10
Gambar 3. 1 Lokasi Titik Sampling	19
Gambar 3. 2 CO Meter	21
Gambar 3. 3 Impinger	22
Gambar 3. 4 Pembuatan Media Nutrient Agar	23
Gambar 3. 5 Microbiological Air Sampler	24
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Konsentrasi CO ₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan disetiap Sesinya	29
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi CO ₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan	29
Gambar 4. 3 Peta Persebaran Konsentrasi CO ₂ pada Hari Kerja	32
Gambar 4. 4 Peta Persebaran Konsentrasi CO ₂ pada Akhir Pekan	32
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Konsentrasi NO ₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan disetiap Sesinya	35
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi NO ₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan	35
Gambar 4. 7 Peta Persebaran Konsentrasi NO ₂ pada Hari Kerja	38
Gambar 4. 8 Peta Persebaran Konsentrasai NO ₂ pada Akhir Pekan	38
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Konsentrasi untuk Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan Yeast) antar Titik	40
Gambar 4. 10 Peta Persebaran Konsentrasi untuk Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan Yeast)	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Perhitungan Konsentrasi NO ₂ di Udara Ambien.....	51
Lampiran 2 : Perhitungan Konsentrasi untuk Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan Yeast).....	53
Lampiran 3 : Hasil Pengukuran CO ₂	54
Lampiran 4 : Hasil Pengukuran Konsentrasi NO ₂	63
Lampiran 5 : Hasil Pengukuran Konsentrasi Bakteri.....	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara dengan kualitas bersih dan bebas dari bahan pencemar adalah komponen penting yang dibutuhkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Ketersediaan kualitas udara yang bersih dan bebas dari bahan pencemar kian menurun akibat pencemaran udara yang meningkat. Pencemaran udara adalah campuran kompleks dari berbagai komponen gas dan partikulat dan dapat menyebabkan beberapa efek kesehatan yang merugikan, seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular (Mannucci dkk, 2015). Jika dibandingkan dengan pencemaran tanah dan pencemaran air di sungai, pencemaran udara memiliki lebih banyak dampak negatifnya terhadap manusia (Feng dkk, 2020). Menurut WHO (2022), alat pembakaran rumah tangga, kendaraan bermotor, fasilitas industri dan kebakaran hutan merupakan sumber umum pencemaran udara.

Salah satu penyumbang utama dalam pencemaran udara adalah kendaraan bermotor. Menurut BPS Kota Yogyakarta jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2021 adalah 561.523 unit. Angka ini terus bertambah dari tahun ke tahun. Seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor, tentu saja dibutuhkan tempat untuk melakukan perawatan pada kendaraan tersebut supaya dapat dipakai dalam jangka waktu yang panjang.

Bengkel merupakan tempat dimana kendaraan bermotor bisa mendapatkan perawatan dan perbaikan. Beberapa perawatan dan perbaikan yang dapat dilakukan dibengkel adalah ganti oli, ganti aki, servis ac mobil, ganti ban, pengecekan oli, dan lainnya. Dalam aktivitas yang dilakukan di bengkel, tidak menutup kemungkinan dapat terjadi pencemaran udara didalamnya. Penguapan gas akibat oli yang tumpah, partikulat yang menempel pada mesin serta pembakaran bensin merupakan beberapa contoh pencemaran udara yang dapat terjadi di bengkel. Pencemaran tersebut tentu sangat berbahaya untuk para mekanik yang bekerja disana, karena

mekanik yang bekerja akan terpapar gas beracun dan partikulat dalam jangka waktu yang lama dan berulang-ulang hampir setiap hari.

Salah satu gas beracun yang dapat dihasilkan dari aktivitas bengkel adalah CO₂ dan NO₂. Kedua gas beracun tersebut sangat berbahaya apabila terpapar dalam waktu yang lama karena dapat menyebabkan sakit kepala, peningkatan tekanan darah, pusing-pusing, radang paru-paru, dan paling parah kematian (Domhnaill dkk, 2023). Selain gas beracun, aktivitas bengkel diruangan tertutup tidak menutup kemungkinan untuk bertumbuhnya bakteri karena didukung oleh lingkungan yang lembab dan kotor. Bakteri yang terdapat diruangan tertutup dapat menyebabkan demam, sakit kepala, dan gangguan pernapasan (Basińska dkk, 2019). Oleh karena itu, pemerintah pun mengatur kadar gas beracun yang diperbolehkan untuk berada di dalam ruang yaitu pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.

Penelitian tentang analisis polutan dalam ruang telah dilakukan di beberapa fasilitas publik yaitu perpustakaan universitas oleh (Hayleeyesus dkk, 2014), kantor dan sekolah oleh (Salonen dkk, 2019), dan bengkel oleh (Diva, 2022; Hikmah, 2022; Mareta, 2022; Yasmin, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Mareta (2022) hanya membahas tentang kadar PM_{2.5}, PM₁₀, Pb, dan TSP belum ada pembahasan tentang kadar CO₂, NO₂, dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada bengkel mobil non resmi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis dan menghitung kadar CO₂, NO₂, dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dalam ruang yang terdapat di bengkel mobil non resmi X Yogyakarta.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana konsentrasi karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta?

- 2) Bagaimana sebaran parameter karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Menganalisis konsentrasi karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta
- 2) Menganalisis sebaran karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Menambah wawasan dan keterampilan mahasiswa dalam menguji kadar CO₂, NO₂, dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta.
- 2) Memberikan hasil penelitian kepada pihak terkait sehingga dapat dilakukan upaya dalam pengelolaan kualitas udara pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta.
- 3) Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi :

- 1) Lokasi penelitian yaitu di bengkel mobil non resmi X Yogyakarta.
- 2) Parameter yang akan dihitung kadarnya adalah parameter kimia (karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂) dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*).
- 3) Acuan dalam pengujian nitrogen dioksida (NO₂) menggunakan SNI 7119-2:2017 tentang Cara Uji Kadar Nitrogen dioksida (NO₂) dengan Metode *Griess-Saltzman* Menggunakan Spektrofotometer.

- 4) Baku mutu untuk parameter CO₂ dan NO₂ yang digunakan adalah Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan
- 5) Pengambilan sampel dilakukan pada 3 hari kerja dan 2 hari pada akhir pekan.
- 6) Penelitian ini menggunakan alat-alat berupa CO meter untuk CO₂, impinger untuk NO₂, dan *Microbiology Air Sampler* untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara dalam Ruang (*Indoor Air Pollution*)

Pencemaran udara dalam ruangan biasanya berkaitan dengan kontaminasi kimia, biologi, dan fisik pada udara yang ada dalam ruangan. Pencemaran udara dalam ruangan merupakan tantangan besar bagi lingkungan, kesehatan masyarakat, dan sosio-ekonomi, terutama di negara-negara berkembang. Salah satu sumber pencemaran udara dalam ruang yang signifikan di negara berkembang adalah pembakaran bahan bakar padat yang tidak sempurna dari biomassa yang digunakan untuk memasak, memanaskan, dan penerangan dengan menggunakan alat yang tidak efisien/tradisional (contohnya kompor) dalam kondisi ventilasi buruk dan sering mengakibatkan emisi polutan yang berpotensi beracun dalam jumlah besar (Dhital dkk, 2022).

Pencemaran udara dalam ruang sering dikaitkan dengan penyakit stroke, penyakit jantung iskemik, dan penyakit paru obstruktif kronik, diabetes, dan kanker paru-paru. Menurut *World Health Organization* (WHO), pencemaran udara dalam ruang pada rumah tangga yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar rumah tangga dapat menyebabkan pencemaran udara dalam ruangan dan berkontribusi terhadap pencemaran udara luar ruangan, pencemaran tersebut mengakibatkan 44% dari kematian akibat pneumonia pada anak dibawah lima tahun dan 22% dari kematian orang dewasa. Selain itu, pencemaran udara dalam ruang disebabkan oleh bahan bangunan seperti asbes dan semen, pengawet kayu, produk rumah tangga seperti cat, lem, resin, bahan pemoles, parfum, propelan semprot, dan bahan pembersih (Dhital dkk, 2022).

Pencemaran udara dalam ruang dapat terjadi dimana saja, contohnya adalah pada area parkir *basement*, gedung kampus, sekolah, kantor, bengkel, dan lainnya. Bengkel merupakan tempat usaha yang bergerak di bidang jasa untuk perbaikan maupun perawatan kendaraan (Marwan, 2019). Secara umum bengkel terbagi menjadi dua, yaitu bengkel mobil dan bengkel motor. Bengkel motor biasanya

melayani tambal ban, ganti ban, ganti oli, ganti aki, servis motor, dan lainnya. Sedangkan bengkel mobil biasanya melayani perbaikan audio, perbaikan ac, ganti aki, pengecatan, *body repair*, *tune up*, ganti ban, servis rutin, dan lainnya. Dalam aktivitas perbaikan dan perawatan mobil dibengkel, tidak menutup kemungkinan adanya gas buang yang dikeluarkan oleh mobil sehingga menyebabkan pencemaran udara (Yasmin, 2022).

2.2 Sumber Pencemaran Udara

Pencemaran udara dapat dihasilkan dari dua sumber yaitu sumber alami dan sumber yang berasal dari aktivitas manusia. Contoh dari sumber alami adalah gas dan asap vulkanik dari aktivitas gunung berapi dan kebakaran hutan pada musim kemarau. Sedangkan sumber yang berasal dari aktivitas manusia berupa aktivitas transportasi, aktivitas industri, dan kebakaran hutan liar (Ratnani, 2008). Sumber pencemaran yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dibagi menjadi tiga kelompok yaitu :

- 1) Sumber tetap atau diam (*point source*), sumber yang hanya diam ditempat dan cakupan penyebarannya tidak terlalu luas. Contohnya adalah cerobong pabrik yang menghasilkan kepulan asap pada proses produksinya, masyarakat yang melakukan pembakaran sampah, dan pembuangan gas mobil saat pengecekan mesin pada aktivitas bengkel.
- 2) Sumber yang tidak tetap atau bergerak (*non point source*), sumber yang bergerak sehingga cakupan penyebarannya dapat meluas. Contohnya adalah gas buang dari kendaraan seperti motor, mobil, bis, dan truck.
- 3) Sumber campuran (*compound area source*) atau berasal dari campuran antara sumber tetap dan sumber tidak tetap seperti bandara, terminal, dan pelabuhan (Joviana, 2009).

2.3 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) adalah gas yang relative inert yang tidak mudah meledak atau mudah terbakar dan tidak memicu pembakaran. Oleh karena itu, bahan ini banyak digunakan dalam alat pemadam kebakaran dan sistem pencegah

pembakaran, meskipun diperlukan kehati-hatian terutama di ruang terbatas karena menyebabkan sesak napas dan memiliki kepadatan yang lebih besar daripada udara. Karbon dioksida terjadi secara alami di atmosfer bumi sebagai akibat dari letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dan pernapasan tumbuhan dan hewan (North, 2015).

Menurut Permenkes Nomor 1077/Menkes/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah terdapat dampak yang dapat ditimbulkan dari paparan karbon dioksida (CO₂) yaitu :

- 1) Apabila konsentrasi karbon dioksida (CO₂) diatas nilai ambang batas yang dipersyaratkan dapat menyebabkan mengantuk, sakit kepala, dan menurunkan aktivitas fisik
- 2) Apabila konsentrasi karbon dioksida (CO₂) 3% (30.000 ppm) dapat bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah serta gangguan pendengaran
- 3) Apabila konsentrasi karbon dioksida (CO₂) 5 % (50.000 ppm) dapat menyebabkan pusing-pusing, stimulasi pernapasan, dan kesulitan pernapasan yang diikuti oleh sakit kepala.
- 4) Apabila konsentrasi karbon dioksida (CO₂) > 8% (80.000 ppm) dapat menyebabkan sakit kepala, berkeringat terus menerus, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama 5 – 10 menit.

2.4 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Menurut *National Center for Biotechnology Information*, nitrogen dioksida merupakan gas coklat kemerahan atau cairan coklat kekuningan yang sangat beracun. Gas ini tidak mudah terbakar, tetapi dapat mempercepat pembakaran bahan yang mudah terbakar. Keberadaan NO₂ di udara sangat berbahaya, apabila terpapar akan menghasilkan radang paru-paru yang mungkin hanya menyebabkan sedikit rasa sakit atau berlalu tanpa disadari, tetapi untuk jangka panjangnya dapat menyebabkan edema dan paling parah menyebabkan kematian. Sumber utama NO₂ adalah transportasi jalan raya, meskipun bentuk transportasi lain dan sumber tidak bergerak juga berkontribusi terhadap emisi (Domhnaill dkk, 2023). Maka dari itu,

NO₂ umumnya dianggap sebagai indikator yang berguna untuk mengukur dan menilai polusi udara yang berasal dari sumber kendaraan bermotor (Ackermann-Liebrich dkk, 2019).

Menurut Permenkes Nomor 1077/Menkes/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah terdapat upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan kadar nitrogen dioksida (NO₂) yaitu :

- 1) Menggunakan ventilasi alami atau mekanik dalam rumah atau ruang agar terjadi pertukaran udara
- 2) Menggunakan bahan bakar yang ramah lingkungan
- 3) Tidak merokok dalam rumah atau ruang

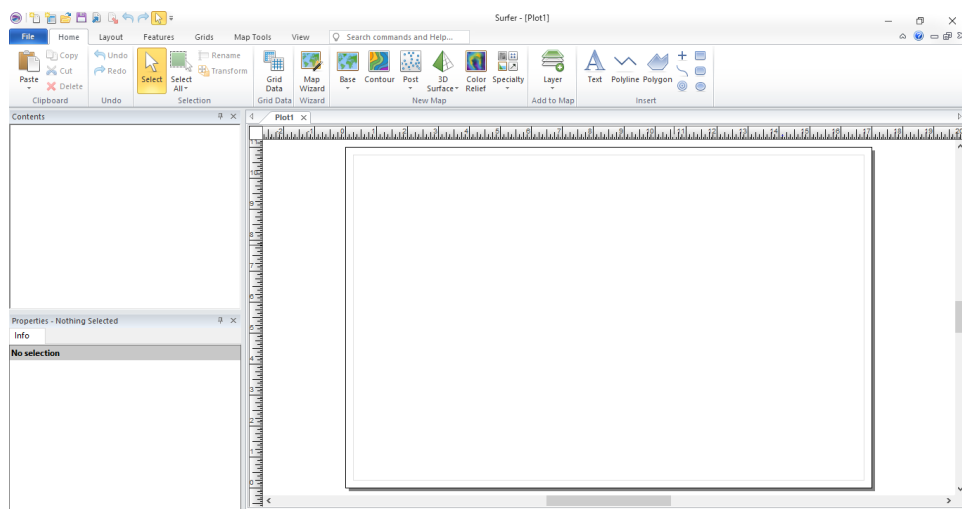
2.5 Mikrobiologi dalam Ruangan

Kualitas udara dalam ruangan dipengaruhi oleh faktor biologis yang termasuk bioaerosol dan merupakan partikel bahan biologis yang tersuspensi di udara. Faktor biologis yang ada terdiri dari virus, bakteri, jamur, alga, serbuk sari tanaman, metabolit, endotoksin, mikotoksin, glucan, dan fragmen bahan organik. Partikel bioaerosol yang terdapat di udara dapat berupa sel tunggal, sel agregat atau sebagai fragmen utuh. Biasanya bioaerosol dapat berpindah melalui kulit, rambut, tanah, debu, air liur, lendir atau tetesan air. Bioaerosol memiliki ukuran yang bervariasi dari beberapa nanometer hingga kira-kira 0,1 mm (Basińska dkk, 2019).

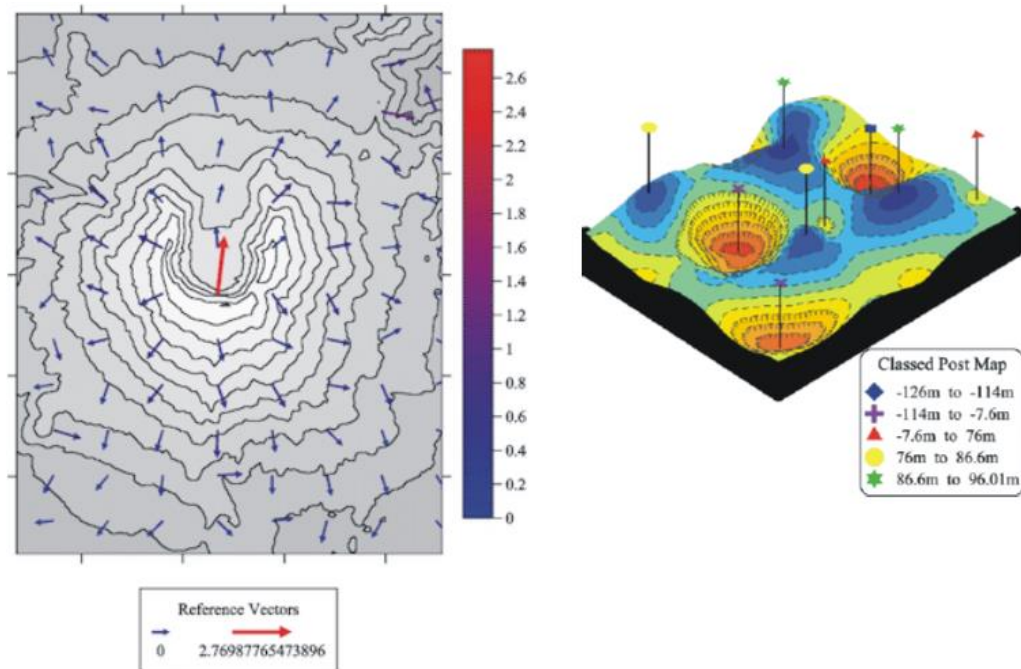
Sebagian besar bioaerosol menunjukkan beberapa patogenisitas serta sifat hipoalergenik dan toksik. Contoh yang termasuk racun berasal dari fragmen dinding sel bakteri gram negative (endotoksin), metabolet tidak aktif yang dihasilkan oleh bakteri, eksotoksin atau jamur (mikotoksin). Bioaerosol tersebut dapat menyebabkan penyakit parah, demam, sakit kepala, batuk, dan gangguan pernapasan. Beberapa peneliti menyatakan bahwa dampak konsentrasi bioaerosol terhadap terjadinya iritasi pada saluran pernapasan bagian atas, mual, demam bahkan berpotensi pneumonia dan penyakit pernapasan (Basińska dkk, 2019)

2.6 Software Surfer 15

Software Surfer merupakan produksi dari *American Golden Software Company* (AGSC), *surfer* versi 1.0 mulai diperkenalkan ke pasaran pada tahun 1985. Kemudian pada tahun 2002, AGSC mengeluarkan *surfer* versi 8.0. *Surfer* merupakan perangkat lunak yang berjalan pada *windows* yang dapat menginterpolasikan data dua dimensi dengan baik. Selain itu, fungsi dari *surfer* adalah dapat menampilkan peta tiga dimensi, menganalisis perhitungan, memroses *batch*, manajemen objek, dan membuat peta kontur (Si dkk, 2010). *Surfer* memiliki cara kerja yaitu menyisipkan data XYZ acak menjadi grid data yang tertata dan menyimpan hasil grid data ke dalam file *.GRD. Hasil penyimpanan file tersebut dapat menghasilkan peta permukaan 3D, peta kontur, peta topografi, dan peta geomorfologi (Si dkk, 2010). Halaman depan saat menggunakan *surfer* dapat dilihat pada *Gambar 2. 1*, sedangkan contoh penggunaan *surfer* dapat dilihat pada *Gambar 2. 2*.



Gambar 2. 1 Tampilan Halaman Depan *Surfer* saat Digunakan



Gambar 2. 2 Contoh Penggunaan *Surfer*

Sumber : *Tutorial Surface Mapping Software Surfer, 2007*

2.7 Faktor Meteorologis yang Mempengaruhi Konsentrasi CO₂, NO₂, dan Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*)

Menurut *Queensland Government*, data meteorologi dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber pencemar, memprediksi hari dimana konsentrasi polutan tinggi dan memprediksi kualitas udara menggunakan model komputer. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi konsentrasi CO₂, NO₂, dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) yaitu :

1. Kecepatan angin

Kecepatan angin merupakan penggambaran seberapa cepatnya udara yang bergerak melewati titik tertentu. Menurut *Queensland Government* kecepatan angin yang lebih tinggi mengartikan bahwa dispersi atau pergerakan polutan udara yang lebih besar, menghasilkan konsentrasi polusi udara yang lebih rendah. Apabila kecepatan angin menunjukkan hasil yang stabil, maka konsentrasi polusi udara yang dihasilkan akan cenderung lebih sedikit. Menurut Tasic (2013) kecepatan angin yang tinggi menyebabkan konsentrasi polutan rendah karena penyebaran

udara ke dalam ruangan menjadi lebih cepat sehingga polutan akan terbawa angin menjauhi lokasi pengukuran. Sebaliknya apabila kecepatan angin rendah, maka penyebaran udara ke dalam ruangan akan menjadi lebih lambat sehingga polutan akan mengumpul disekitar lokasi pengukuran dan membuat konsentrasi polutan tinggi.

2. Kelembaban

Menurut *National Geography*, kelembaban adalah jumlah uap air yang ada di udara. Sedangkan kelembaban relatif adalah jumlah uap air sebenarnya yang ada di udara dan dinyatakan dalam persentase dari jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada suhu yang sama. Menurut *Queensland Government*, kelembaban di atmosfer sangat bervariasi, tergantung pada lokasi geografis, jarak dengan badan air, arah angin, dan suhu udara. Kelembaban relatif umumnya lebih tinggi selama musim panas, ketika suhu dan curah hujan juga paling tinggi. Kelembaban yang tinggi menyebabkan konsentrasi polutan tinggi, hal ini terjadi karena pergerakan polutan menjadi terhambat akibat tingginya jumlah uap air yang terdapat di udara. Namun sebaliknya, jika jumlah uap air yang terdapat di udara rendah, pergerakan udara menjadi lebih cepat karena tidak ada hambatan oleh uap air (Istirokhatun dkk, 2016).

3. Suhu

Menurut *National Geography*, suhu adalah derajat panas atau dinginnya suatu benda. Suhu biasanya dinyatakan dalam satuan Fahrenheit, Celcius, maupun Kelvin yang menyatakan berapa banyak panas atau energi yang dimiliki benda tersebut. Konsentrasi polutan bisa dipengaruhi oleh suhu. Ketika suhu udara disekitar lokasi pengukuran tinggi maka kerapatan udara disekitarnya menjadi rendah, akibatnya konsentrasi polutan menjadi rendah. Sebaliknya, ketika suhu udara disekitar lokasi pengukuran rendah, maka kerapatan udara menjadi tinggi dan konsentrasi polutan menjadi tinggi (Anthika dkk, 2012).

2.8 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2. 1

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul dan Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
1	Kualitas Udara dalam Ruang di Daerah Parkir <i>Basement</i> dan Parkir <i>Upperground</i> (Studi Kasus di <i>Supermarket</i> Semarang) (Haryono S Huboyo, Titik Istirokhatun & Endro Sutrisno, 2016)	Membandingkan besarnya konsentrasi polutan (debu TSP, NO ₂ , dan CO) di parkir <i>basement</i> dan <i>upperground</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Pengukuran TSP menggunakan <i>Dust sampler</i> yang mengacu pada SNI 19-7119.3-2005 selama 8 jam/hari. - Pengukuran NO₂ menggunakan impinger selama 1 jam per hari, dilakukan secara triplo, dan dianalisis di laboratorium dengan metode <i>Griess Saltzman</i> - Pengukuran CO menggunakan alat CO meter dengan durasi pencatatan tiap 10 menit dan dirata-ratakan selama 8 jam per hari. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rata-rata nilai konsentrasi TSP dihari libur melebihi baku mutu udara ruang yaitu mencapai >300 µg/m³. - Konsentrasi NO₂ pada hari libur lebih tinggi dibanding pada hari kerja kecuali hari Senin (9 September), namun nilai yang dihasilkan masih dibawah baku mutu udara ambien untuk NO₂ yaitu pada SK Gubernur Jawa Tengah No. 8 Tahun 2001 sebesar 316 µ/Nm³. - Nilai konsentrasi CO dihari kerja dan hari libur semuanya masuk baku mutu sebesar 25 ppm

2	<p>Penentuan Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) Di Sekitar Fakultas Pertanian IPB dengan Menggunakan Metode <i>Griess Saltzman</i></p> <p>(Dewi Dwi Yushistira & Marissa Dwi Ayusari, 2015)</p>	<p>Menentukan konsentrasi NO₂ sebagai senyawa pencemar pada udara ambien berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara</p>	<p>Pengambilan sampel secara langsung dan dianalisis dengan metode <i>Griess Saltzman</i> yang dilakukan di laboratorium polusi dan kualitas udara teknik sipil dan lingkungan IPB</p>	<p>Nilai konsentrasi NO₂ yang terdapat di udara ambien sekitar Fakultas Pertanian IPB masih tergolong aman yaitu sebesar 9,74986 µg/m³.</p>
3	<p>Analisis Konsentrasi Polutan Pb, TSP, PM_{2.5}, dan PM₁₀ serta Kajian Implementasi Sistem Pengelolaan Kualitas Udara di Bengkel X</p> <p>(Orisha Yuhan Mareta, 2022)</p>	<p>Untuk mengetahui sebaran konsentrasi Pb, TSP, PM_{2.5}, dan PM₁₀, memetakan pola persebaran konsentrasi polutan, serta mengkaji sistem pengendalian pencemaran udara yang sudah dilakukan di bengkel X</p>	<p>Pengambilan sampel Pb menggunakan metode <i>direct sampling</i> dengan alat <i>low volume air sampler</i> (LVA) sedangkan untuk pengambilan sampel TSP, PM_{2.5}, dan PM₁₀ menggunakan alat yang bernama <i>E-sampler</i>.</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya konsentrasi TSP yang tidak melebihi baku mutu. Selain itu, sarana dan prasarana yang menunjang sistem pengelolaan kualitas udara tidak seluruhnya memenuhi persyaratan seperti jumlah <i>exhausted fan</i> yang kurang dan ruangan pengelolaan udara yang tidak dipelihara secara berkala.</p>
4	<p>Analisis Kadar PM₁₀, PM_{2.5}, TSP, dan Pb dalam Ruang (Studi Kasus : Bengkel Sabel Motor, Yogyakarta)</p> <p>(Husna Zaherotul Hikmah, 2022)</p>	<p>Mengukur kualitas udara pada area bengkel dengan parameter PM₁₀, PM_{2.5}, TSP, dan Pb.</p>	<p>Pengambilan sampel parameter PM₁₀, PM_{2.5}, dan TSP dilakukan menggunakan alat <i>E-sampler Met One instruments</i>. Sedangkan parameter Pb dalam TSP menggunakan alat <i>Low Volume Air</i></p>	<p>Nilai konsentrasi PM₁₀ tertinggi berada pada Titik 2 sebesar 39,33 µg/m³. Untuk nilai konsentrasi PM_{2.5} tertinggi pada titik 2 sebesar 38,64</p>

			<i>Sampler</i> (LVAS) dan menganalisis timbal (Pb) dengan metode destruksi basah menggunakan spektrofotometer serapan atom nyala (SSA)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk nilai konsentrasi TSP tertinggi terdapat di titik 1 sebesar 43,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil konsentrasi Pb dalam TSP didapat nilai rata-rata sebesar 0,0031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai konsentrasi yang melebihi baku mutu adalah pada parameter TSP.
5	Analisa Pengukuran Pencahayaan, Kebisingan, CO ₂ , dan CO pada Bengkel Motor Non Resmi "Sabel Motor" (Thareq Muhammad Diva, 2022)	Untuk menghitung nilai tingkat kebisingan, intensitas pencahayaan, CO ₂ , dan CO pada bengkel umum kendaraan bermotor non resmi tipe C	Pengambilan sampel kebisingan menggunakan alat berupa <i>sound level meter</i> , pencahayaan menggunakan <i>lux meter</i> , serta CO dan CO ₂ menggunakan CO meter	Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kebisingan, pencahayaan, CO ₂ , dan CO masih berada dibawah nilai baku mutu yang telah ditetapkan oleh masing-masing parameter pengukuran
6	Analisis Kualitas Udara Bengkel Mobil Resmi X dengan Parameter Pb, TSP, dan PM ₁₀ (Anisah Yasmin, 2022)	Untuk analisis konsentrasi polutan Pb, TSP, dan PM ₁₀ dan mengkaji implementasi pengendalian kualitas udara dalam ruang yang telah dilakukan bengkel mobil resmi X.	Pengambilan sampel timbal (Pb) dilakukan dengan menggunakan metode <i>direct sampling</i> menggunakan alat <i>Low Air Volume Sampler</i> (LVAS) dan pengukuran konsentrasi dengan <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS). Sedangkan untuk pengambilan sampel TSP dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konsentrasi Pb, TSP, dan PM ₁₀ pada bengkel mobil resmi X tidak ada yang melebihi baku mutu. Sedangkan pengendalian kualitas udara dibengkel mobil resmi X beberapa sudah

			PM ₁₀ menggunakan alat <i>Met One E-Sampler</i> .	diterapkan dan sarana ventilasi sudah memenuhi SNI. Namun saat melakukan pekerjaan masih terdapat pekerja yang tidak menggunakan masker.
7	<i>Microbiological Quality of Indoor Air in University Libraries</i> (Samuel Fekadu Hayleeyesus, Abayneh Melaku Manaye, 2014)	Untuk mengevaluasi konsentrasi bakteri dan jamur di lingkungan dalam ruangan perpustakaan universitas jimma, untuk memperkirakan bahaya kesehatan dan membuat standar untuk kontrol kualitas udara dalam ruangan	Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan cawan petri terbuka yang telah berisi media kultur untuk mengumpulkan sampel dua kali sehari.	Konsentrasi bakteri dan jamur yang berada di lingkungan dalam ruangan kampus universitas berkisar antara 367 - 2595 CFU/m ³ . Sedangkan bakteri yang terisolasi diantaranya <i>Micrococcus</i> sp., <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Streptococcus pyogenes</i> , <i>Bacillus</i> sp, dan <i>Neisseria</i> sp. Sedangkan untuk jamur yang terisolasi adalah <i>Cladosporium</i> sp., <i>Alternaria</i> sp., <i>Penicillium</i> sp., dan <i>Aspergillus</i> sp.
8	<i>Indoor Air Quality in University Environments</i> (Mara Di Giulio, Rossella Grande,	Untuk mengevaluasi mikroflora udara di laboratorium penelitian Universitas Chieti (Italia)	Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan cawan petri terbuka yang telah berisi media kultur untuk	Mikroorganisme yang paling banyak terdeteksi di udara dalam ruangan gedung adalah bakteri

	Emanuela Di Campli, Soraya Di Bartolomeo, Luigina Cellini, (2010)		mengumpulkan sampel setiap bulan selama 1 jam pada pagi dan sore hari.	gram positif termasuk dalam genus <i>Staphylococcus</i> , <i>Bacillus</i> , dan <i>Actinomyces</i> .
9	<i>Human Exposure to NO₂ in School and Office Indoor Environments</i> (Heidi Salonen, Tunga Salthammer, Lidia Morawska, 2019)	Untuk menganalisis besarnya dan tren paparan NO ₂ global dan lokal di sekolah dan kantor, dan faktor-faktor yang mempengaruhi paparannya	Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur seperti Web of Science, SCOPUS, Google Scholar, dan PubMed untuk mengidentifikasi manuskrip dan laporan yang diterbitkan antara tahun 1971 sampai 2019.	Rata-rata konsentrasi NO ₂ di sekolah adalah 29,4 µg/m ³ dan rata-rata konsentrasi NO ₂ di kantor adalah 25,1 µg/m ³ . Hasil tersebut jauh di bawah pedoman dari WHO yaitu 40 µg/m ³
10	<i>Indoor Air Quality in Residential Buildings in Upper Siles Poland</i> (Barbara Kozielska, Anna Mainka, Magdalena Zak, Dorota Kaleta, Walter Mucha, 2020)	Untuk memberikan data tentang tingkat konsentrasi polutan udara di dalam dan di luar ruangan di wilayah paling tercemar di Polandia yaitu Upper Silesia, yang dapat digunakan untuk mengevaluasi paparan terhadap warga di wilayah tersebut.	Pengambilan sampel dilakukan secara bersamaan diluar dan didalam bangunan tempat tinggal (rumah susun dan rumah), termasuk dapur, ruang tamu, dan kamar tidur. Konsentrasi CO ₂ diukur secara otomatis, PM ₄ secara gravimetri, dan BTESX dan NO ₂ secara pasif dengan kromatografi gas (GC) dan spektrofotometri	Konsentrasi CO ₂ tertinggi ditemukan dikamar tidur dengan nilai rata-rata 857 ppm. Sedangkan peningkatan konsentrasi NO ₂ masing-masing 20.5 µg/m ³ , 24.9 µg/m ³ , dan 21.2 µg/m ³ di kamar tidur, dapur, dan ruang keluarga.
11	<i>Indoor Bacterial Load and its Correlation to Physical Indoor Air Quality Parameters in Public Primary Schools</i>	Untuk menilai kualitas bakteri pada udara dalam ruangan di sekolah dasar negeri serta meningkatkan kesadaran dan memberikan referensi untuk pemahaman yang	Pengambilan sampel dilakukan dengan memaparkan cawan petri yang berisi media selama satu jam.	Beban total rata-rata bakteri adalah 2826,35 CFU/m ³ di pagi hari dan 4514,63 CFU/m ³ di sore hari. Sedangkan bakteri yang terisolasi adalah <i>Staphylococcus</i>

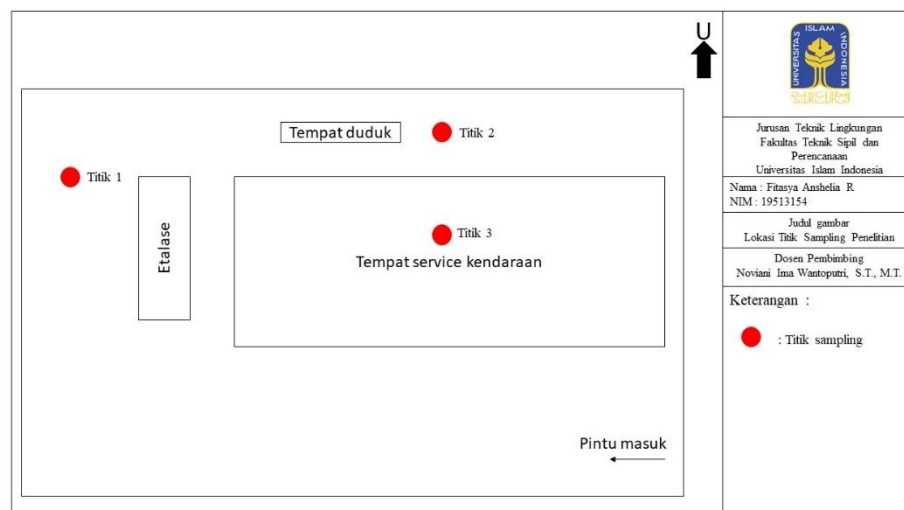
	(Zewudu Andualem, Zemichael Gizaw, Laekemariam Bogale, Henok Dagne, 2019)	lebih baik tentang masalah kualitas bakteri pada udara dalam ruangan di sekolah dasar negeri		<i>species</i> dan <i>Bacillus species</i> .
12	<i>Microbiological Assessment of the Indoor Air Quality of University Health Centre in Nigeria</i> (OO Ayepola, Lo Egwari, Gi Olasehinde, 2015)	Untuk mengevaluasi kualitas udara dalam ruangan di pusat kesehatan universitas	Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan cawan petri terbuka yang telah berisi media kultur untuk mengumpulkan sampel kemudian sampel udara diambil dari ruang tunggu, ruang konsultasi, bangsal pria dan wanita, serta laboratorium	Tiga belas genera bakteri dan dua genera jamur diidentifikasi. Bakteri yang dominan adalah <i>Klebsilla</i> spp (15,7%), <i>Bacillus</i> spp (15,7%), dan <i>Streptococcus</i> spp (10,5%). Sedangkan jamur yang teridentifikasi adalah <i>Aspergillus niger</i> (50%) dan <i>Mucor</i> spp (50%). Beban mikroba tertinggi di bangsal, ruang konsultasi, dan ruang tunggu.
13	<i>Indoor Air Quality in Two University Sports Facilities</i> (Celia A. Alves, Ana I. Calvo, Amaya Castro, Roberto Fraile, Margarita Evtuyugina, Enow F. Bate-Epey, 2013)	Unuk melakukan karakterisasi komprehensif dari berbagai macam polutan dalam ruangan di dua fasilitas olahraga dan hubungannya dengan udara luar	Pengambilan sampel pasif NO ₂ , senyawa karbonil, dan VOC menggunakan spektrofotometri, kromatografi cair, dan kromatografi gas. Sedangkan PM10 menggunakan <i>low volume samplers</i> .	Konsentrasi NO ₂ diluar ruangan lebih tinggi daripada didalam ruangan, kemungkinan hasil dari emisi gas buang kendaraan dari lalu lintas disekitar. Konsentrasi rata-rata yang diperoleh didalam <i>fronton</i> dan <i>gymnasium</i>

				masing-masing adalah $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
--	--	--	--	---

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu

Lokasi yang digunakan sebagai tempat penelitian adalah bengkel mobil non resmi X, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai tempat pengambilan sampel CO₂, NO₂, dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) kemudian laboratorium Teknik lingkungan UII sebagai tempat analisis kandungan CO₂, NO₂, dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*). Pengukuran CO₂, NO₂, dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dilakukan di 3 titik, untuk lokasi titik sampling yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. 1.



Gambar 3. 1 Lokasi Titik Sampling

Keterangan :

1. Titik 1 merupakan etalase dimana dijadikan tempat transaksi antara pihak bengkel dan pelanggan
2. Titik 2 merupakan tempat untuk pelanggan menunggu

3. Titik 3 merupakan tempat dilakukannya *service* kendaraan dimana menjadi sumber pencemar

Penelitian dilakukan selama 5 hari, hari pertama (Rabu, 10 Mei 2023), hari kedua (Kamis, 11 Mei 2023), hari ketiga (Sabtu, 13 Mei 2023), hari keempat (Minggu, 14 Mei 2023), dan hari kelima (Senin, 15 Mei 2023). Untuk pengambilan sampel secara lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Waktu Pengambilan Sampel beserta Parameternya

No	Titik Sampling	Hari, tanggal	Parameter		
			CO ₂	NO ₂	Biologi (bakteri, jamur, dan <i>yeast</i>)
1	Titik 1	Rabu, 10 Mei 2023	✓	✓	-
2		Sabtu, 13 Mei 2023	✓	✓	-
3		Senin, 15 Mei 2023	-	-	✓
4	Titik 2	Kamis, 11 Mei 2023	✓	✓	-
5		Sabtu, 13 Mei 2023	✓	✓	-
6		Senin, 15 Mei 2023	-	-	✓
	Titik 3	Minggu, 14 Mei 2023	✓	✓	-
6		Senin, 15 Mei 2023	✓	✓	✓

Pengambilan sampel CO₂ dan NO₂ dilakukan dengan membaginya dalam tiga sesi yang berbeda. Sesi pagi diambil pada rentang waktu jam 08.00 – 11.00 WIB, sesi siang pada rentang waktu jam 12.00 – 14.00 WIB, dan sesi sore pada rentang waktu jam 14.30 – 16.00 WIB. Pengambilan sampel setiap titik dilakukan dalam waktu satu jam pada tiap sesinya. Sehingga pengukuran pada titik satu untuk sesi pagi dilakukan sampling selama satu jam, kemudian, untuk sesi siang satu jam, dan terakhir untuk sesi sore satu jam. Cara yang sama dilakukan pula pada titik dua dan titik tiga. Untuk CO₂, pembacaan sampel dilakukan setiap 10 menit sekali selama satu jam. Untuk NO₂, setelah pengambilan sampel selama satu jam, sampel kemudian dibaca menggunakan spektrofotometer.

Sedangkan untuk pengambilan sampel parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dilakukan dengan membaginya dalam tiga titik yang berbeda, namun pada

waktu dimana bengkel ramai pengunjung yaitu pada rentang waktu jam 11.00 – 14.00 WIB.

3.2 Pengambilan Sampel

3.2.1 Pengukuran Karbon Dioksida (CO₂)

Pengambilan sampel CO₂ menggunakan alat berupa CO meter. CO meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi CO₂ maupun CO di udara. Prinsip kerja dari alat ini adalah sampel gas akan diambil melalui *probe*, kemudian melalui pemancaran sistem, gas sampel akan dibandingkan dengan standar gas yang berlaku. Hasil dari pembacaan konsentrasi CO₂ maupun CO akan tertera dilayar yang terdapat di CO meter dalam bentuk *part per million* (ppm) (Diva, 2022). Contoh alat CO Meter dapat dilihat pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 CO Meter

3.2.2 Pengukuran Nitrogen Dioksida (NO₂)

Pengambilan sampel NO₂ menggunakan alat berupa impinger. Impinger adalah alat yang digunakan untuk menentukan kadar gas berbahaya seperti NO₂, SO₂, O₃, dan lain-lain. Prinsip kerja dari impinger ini adalah menarik udara yang terkontaminasi kedalam larutan penjerap di dalam impinger. Larutan penjerap ini mengandung reagen yang akan bereaksi dengan gas kontaminan didalam gelembung udara. Apabila gelembung udara yang terbentuk kecil, maka semakin

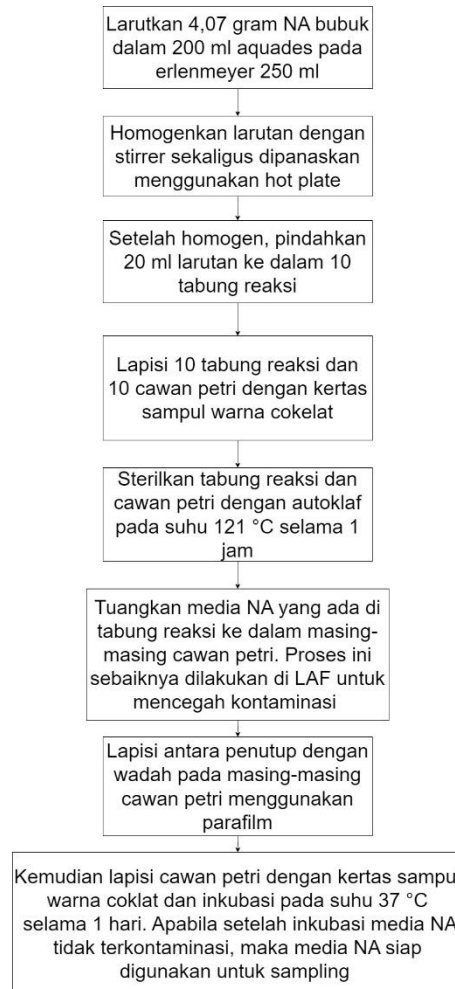
baik reaksi yang terjadi, oleh karena itu pada dinding tabung diberikan tonjolan kecil pemecah gelembung (Fevria, 2016). Contoh alat impinger dapat dilihat pada Gambar 3. 3.



Gambar 3. 3 Impinger

3.2.3 Pengukuran Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*)

Pengambilan sampel parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) diawali dengan mempersiapkan media yang akan digunakan sebagai tempat pertumbuhan bakteri, jamur, dan *yeast*. Pengambilan sampel akan dilakukan di tiga titik yang berbeda dan hanya dilakukan selama satu hari. Oleh karena itu, media yang dipersiapkan untuk pengambilan sampel adalah sepuluh media yang sudah disterilkan dalam cawan petri. Sepuluh media ini terdiri dari enam media untuk masing-masing titik yang dilakukan secara duplo dan empat media sebagai cadangan. Berdasarkan penelitian (Andualem dkk, 2019; Ayepola dkk, 2015; Di Giulio dkk, 2010; Hayleeyesus & Manaye, 2014) media yang digunakan untuk pengambilan sampel parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) adalah media nutrient agar. Media NA yang dibutuhkan untuk sepuluh cawan petri adalah sekitar 200 ml karena masing-masing cawan dapat memuat sekitar 20 ml media NA. Menurut (Bridson, 2006) pembuatan media dapat dilihat pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Pembuatan Media Nutrient Agar

Setelah mempersiapkan media, pengukuran parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dilanjutkan dengan menggunakan alat berupa *Microbiological air sampler*. *Microbiological air sampler* adalah alat laboratorium yang digunakan untuk membantu mengumpulkan volume udara yang melaluinya dari area pengujian. Prinsip kerja dari *Microbiological Air Sampler* (MAS) adalah menyedot udara melalui piring berlubang, kemudian uap udara yang dihasilkan diarahkan ke permukaan media agar yang ada didalam cawan petri. Setelah itu cawan petri diinkubasi pada suhu inkubasi normal selama satu sampai dua hari. Setelah

diinkubasi, koloni dihitung dan dinyatakan sebagai unit pembentuk koloni (CFU/mL). Contoh alat *Microbiological air sampler* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Microbiological Air Sampler*

Setelah cawan petri diinkubasi selama satu sampai dua hari, koloni bakteri, jamur, dan *yeast* yang muncul pada media agar dihitung menggunakan *colony counter*. *Colony counter* adalah alat yang digunakan untuk menghitung koloni yang tumbuh pada media yang telah disimpan dicawan petri. *Colony counter* dapat digunakan dengan menghubungkan steker pada alat dengan stop kontak. Kemudian tekan tombol ON, setelah itu tekan tombol *reset* agar perhitungan disetel ulang dari nol. Kemudian letakan cawan petri yang berisi koloni bakteri di atas meja. Gunakan kaca pembesar untuk melihat koloni lebih jelas, tandai koloni bakteri dengan mengarahkan pulpen pada cawan petri (Aulanni'am, 2012).

3.3 Analisis Data

Setelah dilakukannya sampling, data yang didapatkan harus dianalisis untuk nantinya dapat ditarik kesimpulan. Untuk memudahkan dalam menganalisis, data yang didapatkan dibuat tabulasinya agar mendapatkan nilai rata-rata, nilai minimum, dan nilai maksimum. Selanjutnya data dianalisis dengan

membandingkannya dengan baku mutu yang berlaku yaitu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.

3.3.1 Perhitungan Konsentrasi NO₂

Perhitungan konsentrasi NO₂ mengacu pada persamaan yang telah diatur pada SNI 7119-2:2017 Bagian 2 : Cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan metode *Griess-Saltzman* menggunakan spektrofotometer. Rumus yang digunakan dapat dilihat pada rumus (3. 1) dan rumus (3. 2) yaitu :

- Volume contoh uji udara yang diambil

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760} \quad (3. 1)$$

Keterangan :

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

Q_i = pencatatan laju alir ke – I (Nm³/menit)

n = jumlah pencatatan laju alir

t = durasi pengambilan contoh uji (menit)

P_a = tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg)

T_a = suhu rata-rata selama pengambilan contoh uji dalam kelvin (K)

- Konsentrasi NO₂ di udara ambien

$$C = \frac{b}{V_u} \times \frac{V_1}{25} \times 1.000 \quad (3. 2)$$

Keterangan :

C = Konsentrasi NO₂ di udara (µg/Nm³)

b = Jumlah NO₂ dari contoh uji hasil perhitungan dari kurva kalibrasi (µg)

- V_u = Volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal
 25°C, 760 mmHg (Nm³)
 V_1 = Volume akhir larutan penjerap (mL)
 25 = Volume larutan standar dalam labu ukur
 1000 = Konversi liter ke m³

3.3.2 Perhitungan Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan Yeast)

Perhitungan konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan yeast) menggunakan formula omeliansky yang dijelaskan pada penelitian (Awad & Mawla, 2012; Di Giulio dkk, 2010; Hayleeyesus & Manaye, 2014; Yazdanbakhsh dkk, 2020). Rumus yang digunakan dapat dilihat pada rumus (3. 3 yaitu :

$$N = \frac{5a \times 10^4}{b \times t} \quad (3. 3)$$

Keterangan :

- N = *Microbial* (CFU/m³)
 b = Luas permukaan cawan petri (cm²)
 a = Jumlah koloni per cawan petri
 t = Waktu paparan (menit)

3.3.3 Penggunaan *Surfer*

Untuk membuat peta persebaran menggunakan *software surfer*, hal pertama yang perlu dilakukan adalah menyiapkan hasil data pengukuran dalam bentuk excel. Kemudian buka aplikasi *surfer* dan klik pada menu *grid data*, lalu pilih file excel yang telah disiapkan sebelumnya. File excel yang telah melalui proses *grid* akan berubah kode filenya menjadi .grd. Setelah itu pilih menu *contour*, kemudian pilih file hasil pengukuran yang telah di*grid* sebelumnya. Lalu peta kontur akan muncul dan kemudian peta tersebut dapat diedit sesuai dengan apa yang ingin ditampilkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini berada di bengkel X yang bertempat di Ngebelcilik No.6C, Gondangan, Sardonoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Bengkel X ini merupakan bengkel mobil non resmi yang mampu melayani 7-8 mobil perminggunya. Banyak sedikitnya mobil yang dilayani tergantung dengan permasalahan pada masing-masing mobil. Saat pengambilan sampel, di hari Rabu (10 Mei 2023), Kamis (11 Mei 2023), Sabtu (13 Mei 2023), dan Minggu (14 Mei 2023) terdapat 2-4 mobil yang sedang dilayani dibengkel. Sedangkan pada saat hari Senin (15 Mei 2023) terdapat 7-8 mobil yang sedang dilayani.

Pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan tiga titik sampling yang berbeda. Penentuan tiga titik sampling yang digunakan penelitian ini berdasarkan pada tempat para pekerja akan terkena pencemar secara langsung dan pada tempat yang menghasilkan konsentrasi pencemar yang tinggi. Titik sampling pertama ditempatkan di etalase dimana tempat pekerja melakukan transaksi dengan pelanggan. Titik sampling kedua ditempatkan di tempat duduk yang digunakan untuk pelanggan menunggu. Sedangkan titik ketiga ditempatkan di area servis, area dimana pekerja akan terpapar langsung oleh polutan yang dihasilkan.

4.2 Analisis Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂

4.2.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂

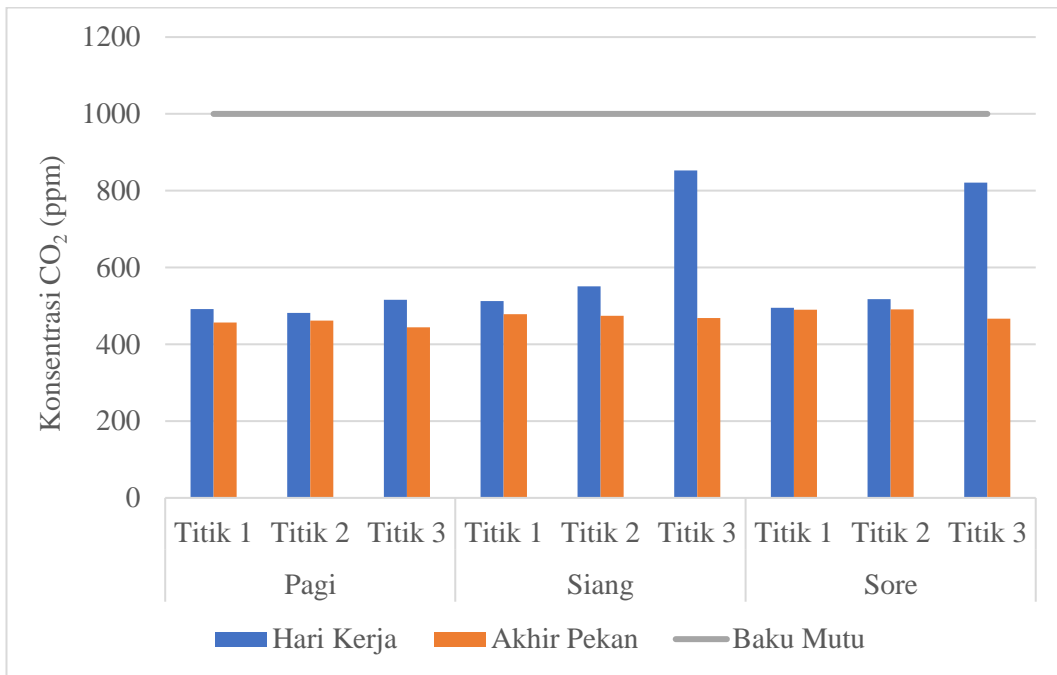
Pengukuran konsentrasi CO₂ diambil menggunakan alat berupa CO meter yaitu KM-410, Wohler. Pengukuran dilakukan selama 8 jam dengan membaginya kedalam tiga sesi yang berbeda dan dalam waktu satu jam, konsentrasi CO₂ dicatat setiap 10 menit sekali. Hasil pengukuran konsentrasi CO₂ dapat dilihat pada Lampiran 3 dan disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4. 1 dan Gambar 4. 2.

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ disetiap Sesinya

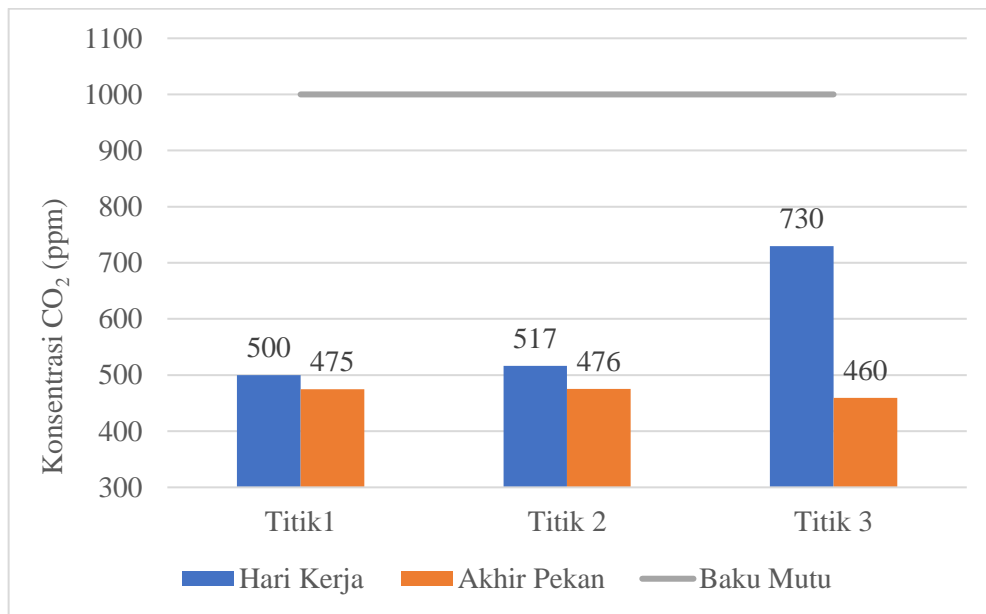
Jenis Hari	Konsentrasi CO ₂ (ppm)								
	Pagi			Siang			Sore		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
Hari Kerja	492	482	516	513	551	852	495	517	821
Akhir Pekan	457	462	444	479	474	468	490	491	467
Baku Mutu	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Tabel 4. 2 Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi CO₂ disetiap Titiknya

Konsentrasi CO ₂ (ppm)	Titik Sampling	Waktu	Jenis Hari	
			Hari Kerja	Akhir Pekan
	Titik 1	Pagi		492
Siang			513	479
Sore			495	490
Rata-rata			500	475
Titik 2	Pagi		482	462
	Siang		551	474
	Sore		517	491
Rata-rata			517	476
Titik 3	Pagi		516	444
	Siang		852	468
	Sore		821	467
Rata-rata			730	460



Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Konsentrasi CO₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan disetiap Sesinya



Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi CO₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan

Berdasarkan Gambar 4. 1, pada hari kerja nilai konsentrasi CO₂ yang cukup tinggi dihasilkan pada titik 3 sesi siang yaitu sebesar 852 ppm dan juga pada titik 3 sesi sore yaitu sebesar 821 ppm. Tingginya nilai konsentrasi CO₂ pada titik 3 ini dihasilkan karena titik 3 dijadikan sebagai area servis. Selain itu, saat pengambilan sampel di titik 3 sesi siang dan sore dihari kerja, pada area servis terdapat aktivitas perbaikan dan pengecekan mobil yang membuat mobil harus digas berulang-ulang, sehingga menghasilkan nilai konsentrasi CO₂ yang tinggi. Sedangkan pada akhir pekan nilai konsentrasi CO₂ yang dihasilkan cenderung memiliki nilai yang sama, walaupun pada saat akhir pekan, khususnya hari sabtu, bengkel tetap buka, tetapi nilai yang dihasilkan tidak menunjukkan adanya kenaikan karena aktivitas bengkel yang dilakukan tidak menghasilkan gas pencemar.

Untuk Gambar 4. 2 merupakan hasil nilai konsentrasi CO₂ yang telah dirata-ratakan dari sesi pagi, siang, dan sore pada setiap titiknya. Kemudian, hasil rata-rata nilai konsentrasi CO₂ tersebut dibandingkan antara hari kerja dan akhir pekan. Berdasarkan Gambar 4. 1 dan Gambar 4. 2, apabila nilai konsentrasi CO₂ antara hari kerja dan akhir pekan dibandingkan, nilai konsentrasi CO₂ dihari kerja selalu menunjukkan nilai yang lebih besar dibanding dengan nilai saat akhir pekan. Hal ini dikarenakan aktivitas perbaikan dan pengecekan mobil yang menghasilkan gas dilakukan dihari kerja, sehingga nilai konsentrasi CO₂ pada hari kerja lebih besar dibanding dengan akhir pekan.

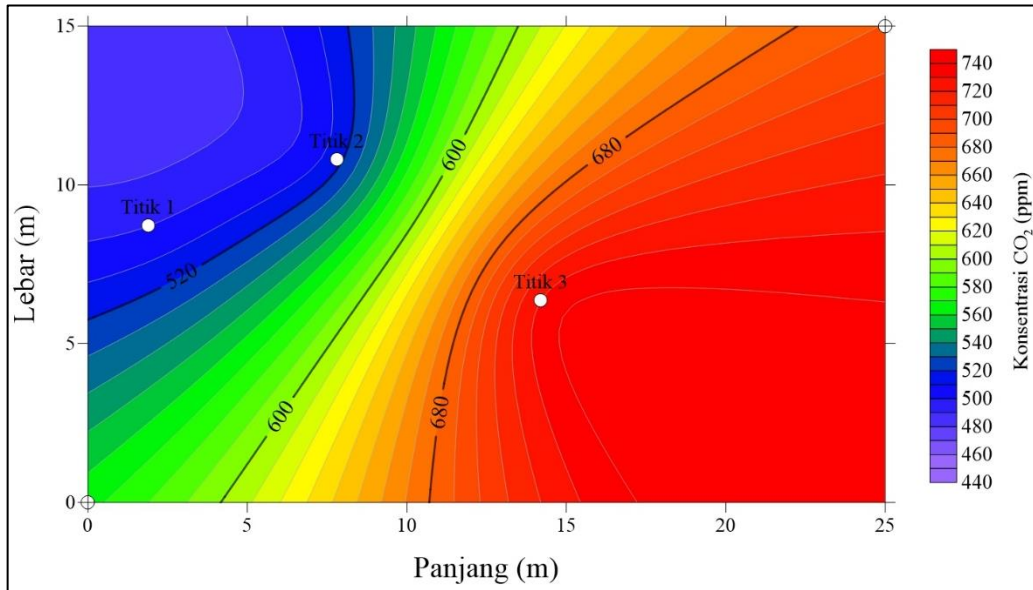
Namun, nilai konsentrasi CO₂ yang dihasilkan baik di hari kerja maupun di akhir pekan, masih menghasilkan nilai dibawah baku mutu. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, standar baku mutu kesehatan lingkungan pada media udara dalam ruang untuk parameter CO₂ adalah 1000 ppm dengan waktu pengukuran 8 jam. Hal ini menandakan bahwa nilai konsentrasi CO₂ yang dihasilkan antara hari kerja dan akhir pekan masih berada di bawah baku mutu, sekalipun untuk nilai tertinggi yang dihasilkan pada hari kerja.

Kadar CO₂ yang dihasilkan pada bengkel dapat mempengaruhi kesehatan pekerja. Menurut Safitri (2022), apabila terdapat kadar CO₂ yang tinggi didalam tubuh manusia akan menyebabkan penyakit asidosis respiratorik atau hiperkapnia.

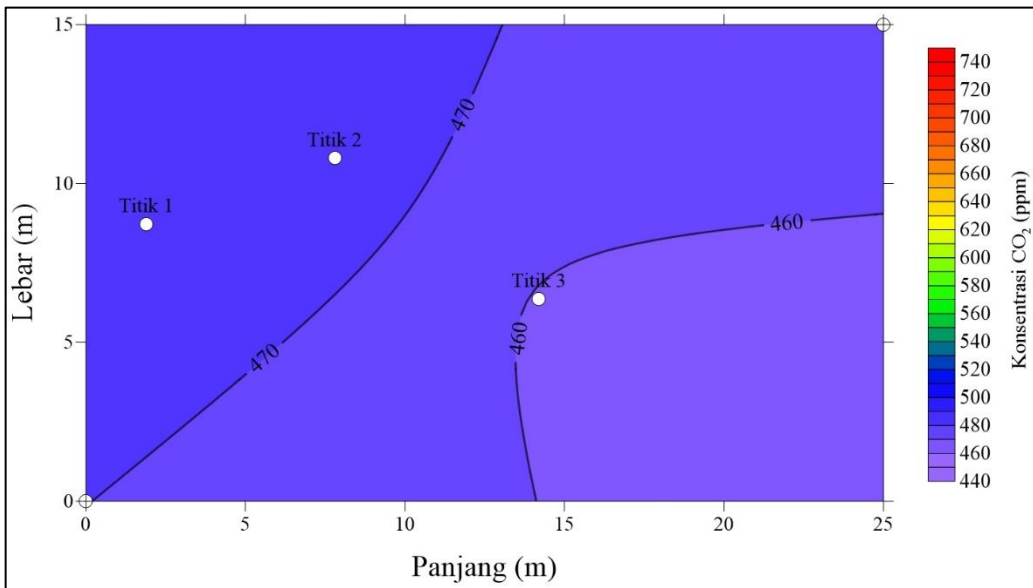
Asidosis respiratorik atau hiperkapnia adalah suatu kondisi yang menyebabkan pH darah lebih rendah dari pH normal karena peningkatan asam dalam darah. Penyakit ini dapat terjadi apabila paru-paru tidak dapat mengeluarkan cukup karbon dioksida sehingga karbon dioksida menumpuk didalam darah (Viswanatha, 2017). Gejala penyakit asidosis respiratorik kronis dapat terjadi secara bertahap yaitu berupa hilang ingatan, gangguan tidur, kantuk berlebihan di siang hari, dan perubahan kepribadian (Azuma dkk, 2018). Sedangkan gejala penyakit asidosis respiratorik akut dapat terjadi ketika karbon dioksida terakumulasi dengan cepat di paru-paru, yaitu berupa sakit kepala, kebingungan, kecemasan, kantuk, dan pingsan (Azuma dkk, 2018).

4.2.2 Sebaran Konsentrasi CO₂

Data hasil pengukuran konsentrasi CO₂ yang telah didapatkan kemudian dilakukan pemetaan untuk mengetahui persebarannya menggunakan *software surfer 15*. Pemetaan dilakukan dengan melakukan *ploting* data panjang ruangan dalam meter sebagai koordinat x, lebar ruangan dalam meter sebagai koordinat y, dan konsentrasi CO₂ sebagai koordinat z. Hasil peta persebaran konsentrasi CO₂ ini menggunakan data nilai rata-rata konsentrasi CO₂ pada tiap titiknya yang dapat dilihat pada Gambar 4. 3 dan Gambar 4. 4.



Gambar 4. 3 Peta Persebaran Konsentrasi CO₂ pada Hari Kerja



Gambar 4. 4 Peta Persebaran Konsentrasi CO₂ pada Akhir Pekan

Berdasarkan Gambar 4. 3, titik 1 merupakan etalase tempat dimana terjadinya interaksi antara pelanggan dengan pekerja, tempat menaruh *sparepart*, perkakas untuk memperbaiki mobil, konsultasi mengenai perawatan mobil, dan lainnya. Titik 1 berada pada koordinat panjang 1,9 m dan lebar 8,73 m yang digambarkan dengan

warna biru tua. Pada *color scale*, warna biru tua menunjukkan nilai konsentrasi pada rentang 480 – 500 ppm. Rentang warna yang dihasilkan dari peta persebaran ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 2, yaitu konsentrasi CO₂ yang dimiliki oleh titik 1 adalah 500 ppm.

Titik 2 pada Gambar 4. 3 merupakan tempat dijadikannya ruang tunggu untuk pelanggan dengan jarak yang tidak jauh dengan area servis. Titik 2 berada pada koordinat panjang 7,8 m dan lebar 10,8 m yang digambarkan dengan warna biru tua. Warna biru tua pada *color scale* menyatakan nilai konsentrasi CO₂ dengan rentang 500 - 520 ppm. Rentang warna yang dihasilkan pada peta persebaran ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 2 yaitu nilai konsentrasi titik 2 sebesar 517 ppm.

Titik 3 merupakan titik yang memiliki konsentrasi CO₂ paling tinggi diantara tiga titik lainnya, karena tempat ini dijadikan sebagai area servis. Titik 3 berada pada koordinat panjang 14,2 m dan lebar 6,37 m yang ditandai dengan warna merah. Pada *color scale*, warna merah menandakan bahwa konsentrasi CO₂ berada direntang 720 – 740 ppm. Rentang warna ini menunjukkan bahwa peta persebaran yang dihasilkan sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 2 dengan nilai konsentrasi CO₂ dititik 3 sebesar 730 ppm.

Pada Gambar 4. 4, koordinat panjang dan lebar untuk setiap titiknya sama seperti pada Gambar 4. 3, namun yang membedakan adalah penggambaran warna disetiap titiknya. Gambar 4. 4 cenderung menghasilkan warna ungu tua dikarenakan hasil rata-rata pengukuran yang dihasilkan pada tiap titiknya berada direntang yang sama yaitu pada rentang 460 – 480 ppm. Hal ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran konsentrasi CO₂ pada Gambar 4. 2 yang mana titik 1, titik 2, titik 3 secara berurutan memiliki nilai konsentrasi sebesar 475 ppm, 476 ppm, dan 460 ppm.

4.3 Analisis Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂

4.3.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂

Pengukuran konsentrasi NO₂ diambil menggunakan alat berupa Impinger. Pengukuran konsentrasi NO₂ dilakukan selama satu jam pada tiap titiknya dengan

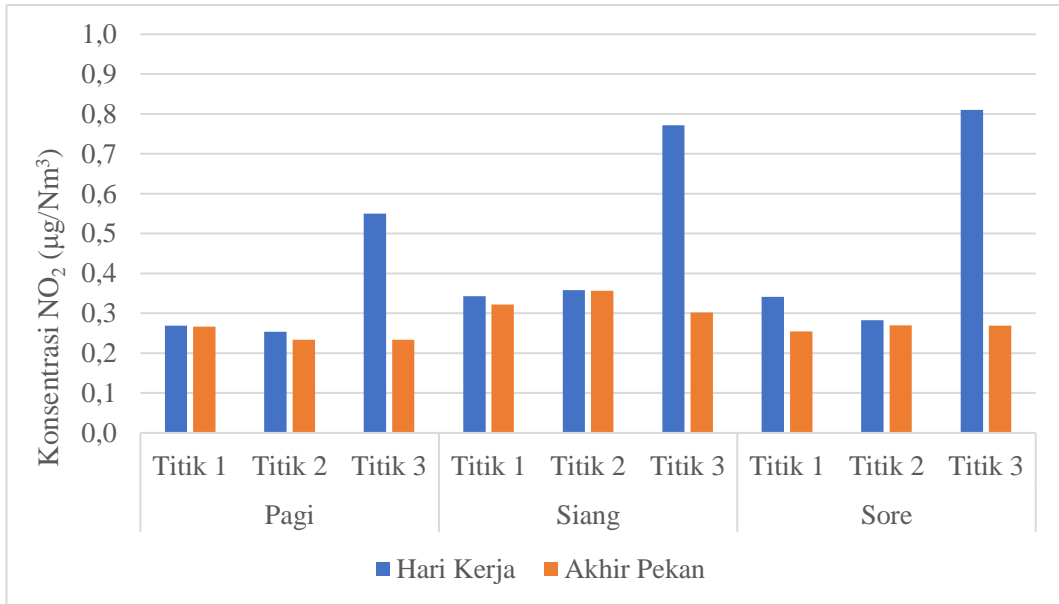
membaginya kedalam tiga sesi yang berbeda. Kemudian hasil pengukuran konsentrasi NO₂ dibaca menggunakan spektrofotometer dengan hasil akhir nilai absorbansi. Nilai absorbansi ini kemudian digunakan untuk menghitung volume contoh uji udara yang diambil dan konsentrasi NO₂ di udara ambien. Untuk contoh perhitungan dan hasil pengukuran konsentrasi NO₂ dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 4 kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4. 5 dan Gambar 4. 6.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂ disetiap Sesinya

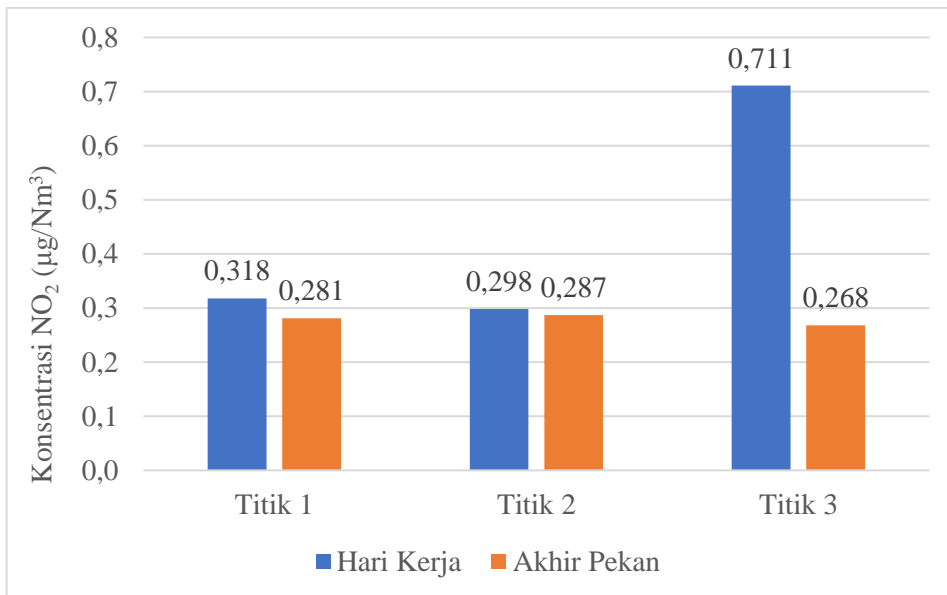
Jenis Hari	Konsentrasi NO ₂ (µg/m ³)								
	Pagi			Siang			Sore		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
Hari Kerja	0,269	0,254	0,550	0,343	0,358	0,772	0,342	0,283	0,811
Akhir Pekan	0,267	0,234	0,233	0,322	0,357	0,302	0,254	0,270	0,269
Baku Mutu	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Tabel 4. 4 Rata-rata Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂ disetiap Titiknya

Konsentrasi NO ₂ (µg/m ³)	Titik Sampling	Waktu	Jenis Hari	
			Hari Kerja	Akhir Pekan
	Titik 1	Pagi		0,269
Siang			0,343	0,322
Sore			0,342	0,254
Rata-rata			0,318	0,281
Titik 2	Pagi		0,254	0,234
	Siang		0,358	0,357
	Sore		0,283	0,270
Rata-rata			0,298	0,287
Titik 3	Pagi		0,550	0,233
	Siang		0,772	0,302
	Sore		0,811	0,269
Rata-rata			0,711	0,268



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Konsentrasi NO₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan disetiap Sesinya



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Rata-rata Konsentrasi NO₂ antara Hari Kerja dan Akhir Pekan

Berdasarkan Gambar 4. 5 nilai konsentrasi NO₂ pada hari kerja mengalami kenaikan pada titik 3 yaitu dengan nilai pada sesi pagi, siang, sore secara berurutan adalah 0,55 µg/m³, 0,772 µg/m³, dan 0,811 µg/m³. Titik 3 merupakan area servis, tempat dilakukannya perbaikan dan pengecekan mobil. Tingginya nilai konsentrasi NO₂ bisa saja selaras dengan aktivitas bengkel yang sedang dilakukan. Hal ini dikarenakan pada saat pengambilan sampel NO₂ dititik 3 sesi siang dan sore sedang dilakukannya perbaikan dan pengecekan mobil yang menyebabkan mobil harus digas berulang-ulang. Sedangkan pada akhir pekan nilai konsentrasi NO₂ yang dihasilkan cenderung memiliki nilai yang sama disetiap sesinya, walaupun pada saat akhir pekan, khususnya hari sabtu, bengkel tetap buka, tetapi nilai yang dihasilkan tidak menunjukkan adanya kenaikan karena aktivitas bengkel yang dilakukan tidak menghasilkan gas pencemar.

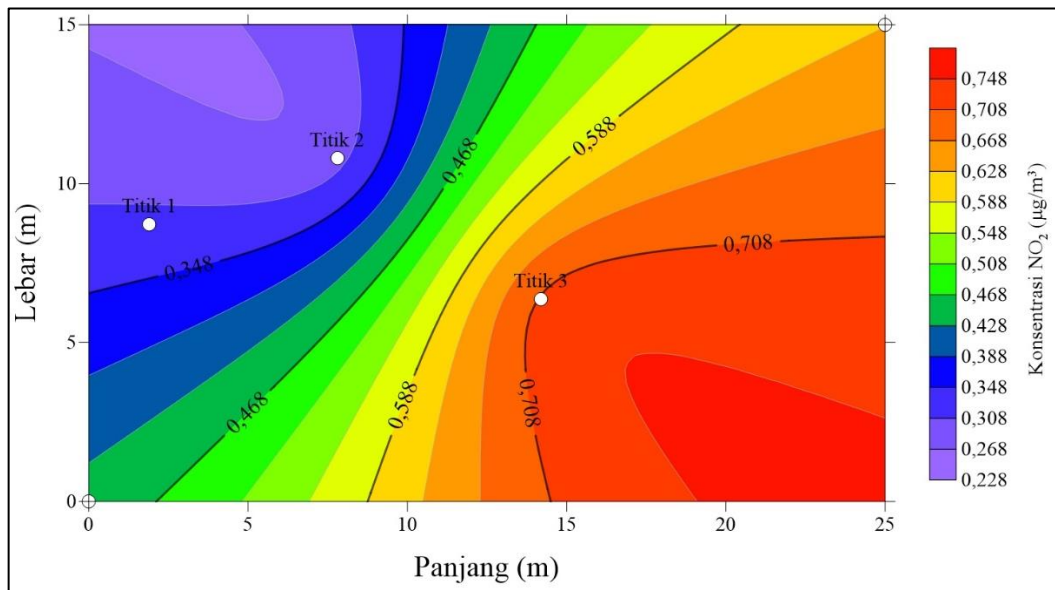
Untuk Gambar 4. 6 merupakan hasil nilai konsentrasi NO₂ yang telah dirata-ratakan dari sesi pagi, siang, dan sore pada setiap titiknya. Kemudian, hasil rata-rata nilai konsentrasi NO₂ tersebut dibandingkan antara hari kerja dan akhir pekan. Nilai konsentrasi NO₂ pada titik 1 dan titik 2 apabila dibandingkan antara hari kerja dengan hari libur tidak memiliki perbedaan yang terlalu besar. Namun, nilai konsentrasi NO₂ yang terdapat dititik 3 antara hari kerja dengan akhir pekan memiliki perbedaan cukup jauh. Nilai konsentrasi NO₂ dititik 3 pada hari kerja yaitu 0,711 µg/m³ dan pada akhir pekan yaitu 0,268 µg/m³. Hal ini dikarenakan aktivitas perbaikan dan pengecekan mobil yang menghasilkan gas dilakukan dihari kerja, sehingga nilai konsentrasi NO₂ pada hari kerja lebih besar dibanding dengan akhir pekan.

Namun, nilai konsentrasi NO₂ yang dihasilkan baik di hari kerja maupun di akhir pekan, menghasilkan nilai jauh dibawah baku mutu. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, standar baku mutu kesehatan lingkungan pada media udara dalam ruang untuk parameter NO₂ adalah 200 µg/m³ dengan waktu pengukuran 1 jam. Hal ini menandakan bahwa nilai konsentrasi NO₂ yang dihasilkan antara hari kerja dan akhir pekan jauh berada dibawah baku mutu.

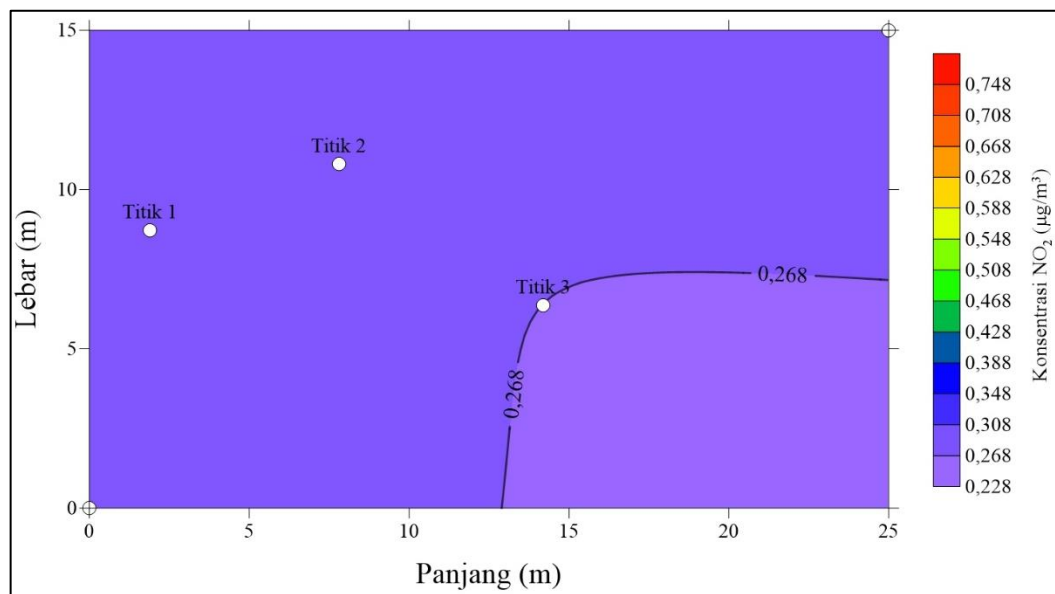
Kadar NO₂ yang dihasilkan pada bengkel dapat mempengaruhi kesehatan pekerja. Pada penelitian (Domhnaiill dkk, 2023) nitrogen dioksida telah dikaitkan sebagai penyebab dari beberapa diagnosis yaitu penurunan ukuran dan fungsi paru-paru, peningkatan gejala pernapasan, asma, dan kematian. Menurut *American Lung Association*, nitrogen dioksida dapat menyebabkan berbagai efek yang berbahaya yaitu peningkatan peradangan pada saluran pernapasan, memburuknya batuk dan mengi, menurunnya fungsi paru-paru, meningkatnya serangan asma terutama pada anak-anak. Peningkatan serangan asma pada anak-anak terjadi karena anak-anak memiliki saluran pernapasan yang pendek sehingga laju pernapasannya lebih cepat dibandingkan dengan orang dewasa. Oleh karena itu, anak-anak akan cenderung menghirup volume udara dan menyerap jumlah polutan yang lebih banyak dibandingkan dengan orang dewasa.

4.3.2 Sebaran Konsentrasi NO₂

Data hasil pengukuran konsentrasi NO₂ yang telah didapatkan kemudian dilakukan pemetaan untuk mengetahui persebarannya menggunakan *software surfer 15*. Pemetaan dilakukan dengan melakukan *ploting* data panjang ruangan dalam meter sebagai koordinat x, lebar ruangan dalam meter sebagai koordinat y, dan konsentrasi NO₂ sebagai koordinat z. Hasil persebaran konsentrasi NO₂ ini menggunakan data nilai rata-rata konsentrasi NO₂ pada tiap titiknya yang dapat dilihat pada Gambar 4. 7 dan Gambar 4. 8.



Gambar 4. 7 Peta Persebaran Konsentrasi NO₂ pada Hari Kerja



Gambar 4. 8 Peta Persebaran Konsentrasai NO₂ pada Akhir Pekan

Berdasarkan Gambar 4. 7 titik 1 berada pada koordinat panjang 1,9 m dan lebar 8,73 m yang digambarkan dengan warna ungu tua. Pada *color scale*, warna ungu tua menunjukkan nilai konsentrasi pada rentang 0,308 – 0,348 µg/m³. Rentang warna yang dihasilkan dari peta persebaran ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 6, yaitu konsentrasi NO₂ yang dimiliki oleh titik 1

adalah $0,318 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Titik 2 berada pada koordinat panjang 7,8 m dan lebar 10,8 m yang digambarkan dengan warna ungu tua. Warna ungu tua pada *color scale* menyatakan nilai konsentrasi NO_2 dengan rentang $0,268 - 0,308 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rentang warna yang dihasilkan pada peta persebaran ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 6 yaitu nilai konsentrasi titik 2 sebesar $0,298 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk titik 3 berada pada koordinat panjang 14,2 m dan lebar 6,37 m yang ditandai dengan warna oranye karena memiliki nilai konsentrasi yang tinggi dibandingkan dengan titik lainnya. Pada *color scale*, warna oranye menandakan bahwa konsentrasi NO_2 berada direntang $0,708 - 0,748 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rentang warna ini menunjukkan bahwa peta persebaran yang dihasilkan sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 6 dengan nilai konsentrasi NO_2 dititik 3 sebesar $0,711 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pada Gambar 4. 8 koordinat panjang dan lebar untuk setiap titiknya sama seperti pada Gambar 4. 7, namun yang membedakan adalah penggambaran warna disetiap titiknya. Gambar 4. 8 cenderung menghasilkan warna ungu dikarenakan hasil rata-rata pengukuran yang dihasilkan pada tiap titiknya berada direntang yang sama yaitu pada rentang $0,268 - 0,308 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran konsentrasi NO_2 pada Gambar 4. 6 yang mana titik 1, titik 2, titik 3 secara berurutan memiliki nilai konsentrasi sebesar $0,281 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,287 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $0,268 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.4 Analisis Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*)

4.4.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*)

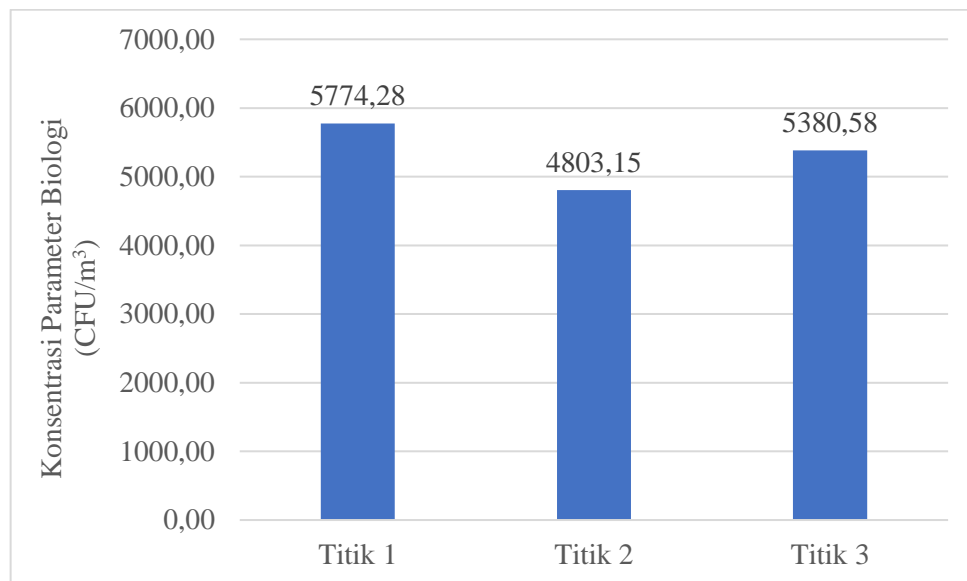
Pengukuran konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) diambil menggunakan alat berupa *Microbiological Air Sampler* (MAS). Pengukuran konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dilakukan selama 15 menit dengan volume udara yang disedot sebanyak 1000 L pada tiap titiknya. Kemudian konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dihitung dengan contoh

perhitungan pada Lampiran 2, sedangkan hasil pengukuran konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dapat dilihat pada

Lampiran 5. Selanjutnya hasil pengukuran konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4. 9.

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan Yeast) disetiap Titiknya

	Titik 1 CFU/m ³	Titik 2 CFU/m ³	Titik 3 CFU/m ³
NA 1	5144,36	5511,81	4619,42
NA 2	6404,20	4094,49	6141,73
Rata-rata	5774,28	4803,15	5380,58



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Konsentrasi untuk Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*) antar Titik

Berdasarkan Gambar 4. 9 , nilai konsentrasi yang ditampilkan merupakan hasil rata-rata dari pengambilan sampel yang dilakukan secara duplo pada masing-masing titik. Nilai konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) yang

paling tinggi dihasilkan pada titik 1 yaitu sebesar 5774,28 CFU/m³, sedangkan untuk titik 2 memiliki nilai 4803 CFU/m³ dan untuk titik 3 memiliki nilai 5380,58 CFU/m³. Titik 1 ini merupakan etalase dimana dijadikan tempat interaksi antara pelanggan dengan pekerja. Interaksi yang dilakukan berupa transaksi pembayaran dan konsultasi seputar *sparepart*. Selain dijadikan untuk tempat interaksi, titik 1 ini dijadikan juga sebagai tempat untuk menyimpan *sparepart* untuk kebutuhan mobil, *stock oli*, *stock kaca film mobil*, dan kebutuhan mobil lainnya. Sehingga keberadaan bakteri pada titik ini bisa saja karena proses interaksi antara pelanggan dan pekerja yang menghasilkan air liur, kemudian penataan barang-barang untuk kebutuhan mobil yang membuat kelembaban pada area ini memicu adanya pertumbuhan bakteri. Selain itu, tingginya konsentrasi untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) juga dipengaruhi oleh kecepatan angin, yang mana pada saat pengambilan sampel konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) di titik 1 dilakukan pada jam 14.00 – 14.30 WIB dengan kecepatan angin 4 m/s.

Sedangkan untuk titik 2 merupakan ruang tunggu bagi pelanggan yang mana kondisi ruang tunggu ini memiliki sirkulasi udara yang cukup baik dibandingkan dengan titik 1. Walaupun pada ruang tunggu ini terdapat kardus dan barang untuk kebutuhan mobil yang membuat area tersebut lembab, namun, nilai konsentrasi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan titik 1. Hal ini bisa saja terjadi karena keberadaan bakteri, jamur, dan *yeast* diudara dipengaruhi oleh kecepatan angin, yang mana pada saat pengambilan sampel konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) di titik 2 dilakukan pada jam 11.50 – 12.30 WIB dengan kecepatan angin 3 m/s. Jadi antara titik 1 dengan titik 2 sama-sama memiliki tingkat kelembaban yang tinggi, tetapi nilai konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) yang dihasilkan berbeda karena tergantung pada nilai kecepatan anginnya.

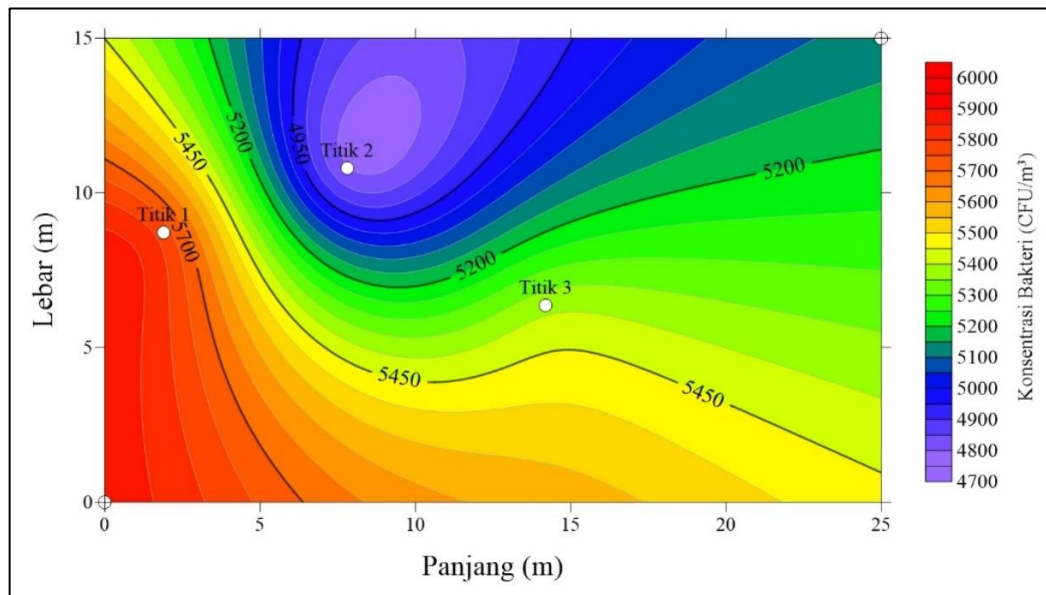
Titik 3 merupakan area servis mobil yang mana kondisi area ini tidak mengindikasikan adanya tingkat kelembaban yang tinggi karena hanya terdapat mobil-mobil yang sedang dalam pengecekan dan perbaikan. Nilai konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) yang dihasilkan pada titik ini lebih besar dari titik 2, namun lebih kecil dibanding titik 1. Hal ini bisa saja terjadi karena

titik 3 memiliki nilai kelembaban yang tidak terlalu besar dibanding dengan titik 2 dan titik 1, namun pada titik ini nilai kecepatan angin yang dihasilkan lebih besar dari 2 titik lainnya. Nilai kecepatan angin pada saat pengambilan sampel konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) di titik 3 adalah 5 m/s.

Nilai konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) yang dihasilkan pada bengkel dapat mempengaruhi kesehatan pekerja. Menurut Basinska dkk, (2019), parameter biologi berupa bakteri, jamur, dan *yeast* dapat menyebabkan iritasi saluran pernafasan bagian atas, mual, dan demam. Selain itu, parameter biologi bakteri, jamur, dan *yeast* dapat menyebabkan penyakit menular berupa tuberculosis dan pneumonia. Penyakit menular tersebut timbul melalui penularan agen infeksi dengan cara kontak langsung (menjilat, menyentuh, menggigit), kontak tidak langsung (batuk dan bersin), penularan melalui udara, dan penularan melalui vector (Kim dkk, 2018).

4.4.2 Sebaran Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*)

Data hasil pengukuran konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) yang telah didapatkan kemudian dilakukan pemetaan untuk mengetahui persebarannya menggunakan *software surfer 15*. Pemetaan dilakukan dengan melakukan *ploting* data panjang ruangan dalam meter sebagai koordinat x, lebar ruangan dalam meter sebagai koordinat y, dan konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) sebagai koordinat z. Hasil peta persebaran konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dapat dilihat pada Gambar 4. 10.



Gambar 4. 10 Peta Persebaran Konsentrasi untuk Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*)

Berdasarkan Gambar 4. 10, titik 1 berada pada koordinat panjang 1,9 m dan lebar 8,73 m yang ditandai oleh warna merah karena memiliki nilai konsentrasi tinggi dibandingkan dengan nilai konsentrasi pada titik lainnya. Warna merah pada *color scale* menunjukkan nilai konsentrasi dengan rentang 5700 – 5800 CFU/m³. Rentang warna yang didapatkan titik 1 ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 9 yang mana konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada titik 1 yaitu 5774,28 CFU/m³. Untuk titik 2 berada pada koordinat panjang 7,8 m dan lebar 10,8 m yang ditandai oleh warna ungu. Warna ungu pada *color scale* menunjukkan bahwa konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dititik 2 masuk pada rentang 4800 – 4900 CFU/m³. Hasil yang ditunjukkan pada peta persebaran ini sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 9 yang mana konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dititik 2 yaitu 4803,15 CFU/m³. Terakhir pada titik 3 terletak pada koordinat panjang 14,2 m dan lebar 6,37 m yang ditandai oleh warna hijau. Pada *color scale*, warna hijau menunjukkan rentang konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dari 5300 – 5400 CFU/m³. Rentang ini menunjukkan bahwa konsentrasi parameter

biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) dititik 3 pada peta persebaran sesuai dengan grafik hasil pengukuran pada Gambar 4. 9 yaitu 5380,58 CFU/m³.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat ditarik adalah :

1. Area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta menghasilkan rata-rata konsentrasi CO₂ tertinggi pada titik 3 dihari kerja yaitu sebesar 730 ppm. Hasil tersebut menunjukkan dibawah baku mutu yaitu 1000 ppm. Kemudian untuk rata-rata konsentrasi NO₂ tertinggi dihasilkan pada titik 3 dihari kerja yaitu sebesar 0,711 µg/m³. Hasil tersebut jauh dibawah baku mutu yaitu sebesar 200 µg/m³. Lalu untuk rata-rata konsentrasi untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) tertinggi dihasilkan pada titik 1 yaitu sebesar 5774,28 CFU/m³.
2. Peta persebaran konsentrasi karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) pada area bengkel mobil non resmi X Yogyakarta dibuat menggunakan *software* yaitu *surfer 15*. Berdasarkan peta yang telah dibuat, rata-rata nilai konsentrasi CO₂ tertinggi dihasilkan pada titik 3 yang ditandai warna merah. Pada *color scale* warna merah mengartikan bahwa konsentrasi CO₂ berada dalam rentang 720 – 740 ppm. Kemudian untuk rata-rata nilai konsentrasi NO₂ tertinggi dihasilkan pada titik 3 yang ditandai warna merah. Warna merah pada *color scale* menandakan bahwa konsentrasi NO₂ berada dalam rentang 0,708 – 0,748 µg/m³. Sedangkan untuk rata-rata nilai konsentrasi untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) tertinggi dihasilkan pada titik 1 yang ditandai warna merah. Pada *color scale*, warna merah menunjukkan bahwa konsentrasi parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) terdapat dalam rentang 5700 – 5800 CFU/m³. Semua peta persebaran yang dihasilkan sudah sesuai dengan hasil perhitungan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat disampaikan adalah :

1. Apabila ingin mengambil topik yang sama dapat melakukannya ditempat *indoor* lainnya seperti di sekolah atau dapur restoran, namun dengan parameter yang berbeda.
2. Memeriksa kembali alat yang akan digunakan sebelum pengambilan sampel untuk memastikan alatnya dapat berfungsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann-Liebrich, U., Felber Dietrich, D., & Joss, M. K. (2019). Respiratory and Cardiovascular Effects of NO₂. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*.
- Alves, C. A., Calvo, A. I., Castro, A., Fraile, R., Evtyugina, M., & Bate-Epey, E. F. (2013). Indoor air quality in two university sports facilities. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(6), 1723–1730.
- American Lung Association. Diakses pada tanggal 2 September 2023.
- Andualem, Z., Gizaw, Z., Bogale, L., & Dagne, H. (2019). Indoor bacterial load and its correlation to physical indoor air quality parameters in public primary schools. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, 14(1), 1–7.
- Aulanni'am. (2012). Instruksi Kerja Pemakaian Colony Counter. *Program Kedokteran Hewan Universitas Brawijaya*, 3.
- Awad, A. H., & Mawla, H. A. (2012). Sedimentation with the omeliansky formula as an accepted technique for quantifying airborne fungi. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6), 1539–1541.
- Ayepola, O., Egwari, L., & Olasehinde, G. (2015). Microbiological assessment of the indoor air quality of a university health centre in Nigeria. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 4(S1), 2015.
- Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., & Osawa, H. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*, 121(August), 51–56.
- Badan Pusat Statistik Daerah Istimewa Yogyakarta. (2021). Transportasi dalam Angka 2021.
- Basińska, M., Michałkiewicz, M., & Ratajczak, K. (2019). Impact of physical and microbiological parameters on proper indoor air quality in nursery. *Environment International*, 132, 105098.
- Bridson, E. Y. (2006). *The OXOID Manual*. 2–268.

- Dhital, S., Rupakheti, D., Rupakheti, M., Yin, X., Liu, Y., Mafiana, J. J., Alareqi, M. M., Mohamednour, H., & Zhang, B. (2022). A scientometric analysis of indoor air pollution research during 1990–2019. *Journal of Environmental Management*, 320, 115736.
- Di Giulio, M., Grande, R., Di Campli, E., Di Bartolomeo, S., & Cellini, L. (2010). Indoor air quality in university environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170(1–4), 509–517.
- Diva, T. M. (2022). Analisa Pengukuran Pencahayaan, Kebisingan, CO₂ dan CO pada Bengkel Motor Non Resmi “Sabel Motor”. 1–91.
- Domhnaill, A., Broderick, B., & O’Mahony, M. (2023). Integrated transportation and land use regression modelling for nitrogen dioxide mitigation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 115, 103572.
- Feng, T., Du, H., Lin, Z., Zuo, J. 2020. Spatial Spillover Effects of Environmental Regulations on Air Pollution: Evidence from Urban Agglomerations in China. *Journal of Environmental Management*, 272, 110998.
- Fevria, R. (2016). Analisis Kualitas Udara di Daerah Penambangan Batu Kapur Bukit Tui Kota Kota Padang Panjang. *Jurnal EKSAKTA*, 2(2), 31–37.
- Hayleeyesus, S. F., & Manaye, A. M. (2014). Microbiological quality of indoor air in University libraries. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(Suppl 1), S312–S317.
- Hikmah, H. Z. (2022). Analisis Kadar Pm 10, Pm 2,5, Tsp Dan Pb Dalam Ruang (Studi Kasus: Bengkel Sabel Motor, Yogyakarta)
- Huboyo, H. S., Istirokhatun, T., & Sutrisno, E. (2016). Kualitas Udara Dalam Ruang di Daerah Parkir Basement dan Parkir *Upperground* (Studi Kasus di *Supermarket* Semarang). *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(1), 8.
- Joviana. 2009. Hubungan Konsentrasi Aktivitas Radon (²²²Rn) dan Thoron (²²⁰Rn) di Udara dalam Ruangan dengan Gejala *Sick Building Syndrome* pada 3 Gedung DKI Jakarta Tahun 2009. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2018). Airborne bioaerosols and their impact on human health. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 67, 23–35.

- Kozielska, B., Mainka, A., Żak, M., Kaleta, D., & Mucha, W. (2020). Indoor air quality in residential buildings in Upper Silesia, Poland. *Building and Environment*, 177, 106914.
- Mannucci, P.M., Harari, S., Martinelli, I., Franchini, M., 2015. Effects on Health of Air Pollution: A Narrative Review. *Intern. Emerg. Med.* 10, 657–662.
- Mareta Yuhan, O. (2022). Analisis Konsentrasi Polutan Pb, Tsp, Pm_{2,5}, dan Pm₁₀ serta Kajian Implementasi Sistem Pengelolaan Kualitas Udara di Bengkel X. 114.
- Marwan, D. A. (2019). Analisis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) pada Bengkel Kendaraan Bermotor di Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 3032552, Nitrogen Dioxide. Retrieved March 6, 2023
- National Geography. Diakses pada 15 Juli 2023.
- North, M. (2015). What is CO₂? Thermodynamics, Basic Reactions and Physical Chemistry. *Carbon Dioxide Utilisation: Closing the Carbon Cycle: First Edition*, 3–17.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.
- Queensland Government. Diakses pada 15 Juli 2023.
- Ratnani, R. D. (2008). Teknik Pengendalian Pencemaran Udara yang Diakibatkan Oleh Partikel. *Majalah Ilmiah Momentum*, 4(2).
- Safitri, L. A. (2022). Literature Review: Kebijakan Dan Teknologi Untuk Mereduksi Dampak Buruk Dari Co₂ Pada Lingkungan. *JOURNAL SCIENTIFIC OF MANDALIKA (JSM) e-ISSN 2745-5955 / p-ISSN 2809-0543*, 3(7), 715–722
- Salonen, H., Salthammer, T., & Morawska, L. (2019). Human exposure to NO₂ in school and office indoor environments. *Environment International*,

130(March), 104887.

Si, Z., Li, S., Huang, L., & Chen, Y. (2010). Visualization programming for batch processing of contour maps based on VB and Surfer software. *Advances in Engineering Software*, 41(7-8), 962-965.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 7119-2017 Bagian 2 : Cara uji kadar nitrogen dioksida (NO₂) dengan metode *GriessI-Saltzman* menggunakan spektrofotometer

Tasic, Visa & Kovacevic, Renata & Milošević, Novica. (2013). Investigating the Impacts of Winds on SO₂ Concentrations in Bor, Serbia. *JSDEWES*. 1. 141-151. 10.13044/j.sdewes.2013.01.0010.

Viswanatha, P. and P. (2017). Keseimbangan Asam Basa. *Keseimbangan Asam Basa*, 1202006111, 1–15.

World Health Organization. Air Pollution. Diakses tanggal 23 April 2022

Yasmin, A. (2022). Analisis Kualitas Udara Bengkel Mobil Resmi X dengan Parameter Pb, Tsp, Dan Pm10.

Yazdanbakhsh, A., Ghazi, M., Sahlabadi, F., & Teimouri, F. (2020). Data on airborne bacteria and fungi emission from a conventional hospital wastewater treatment plant. *Data in Brief*, 28, 105019.

LAMPIRAN

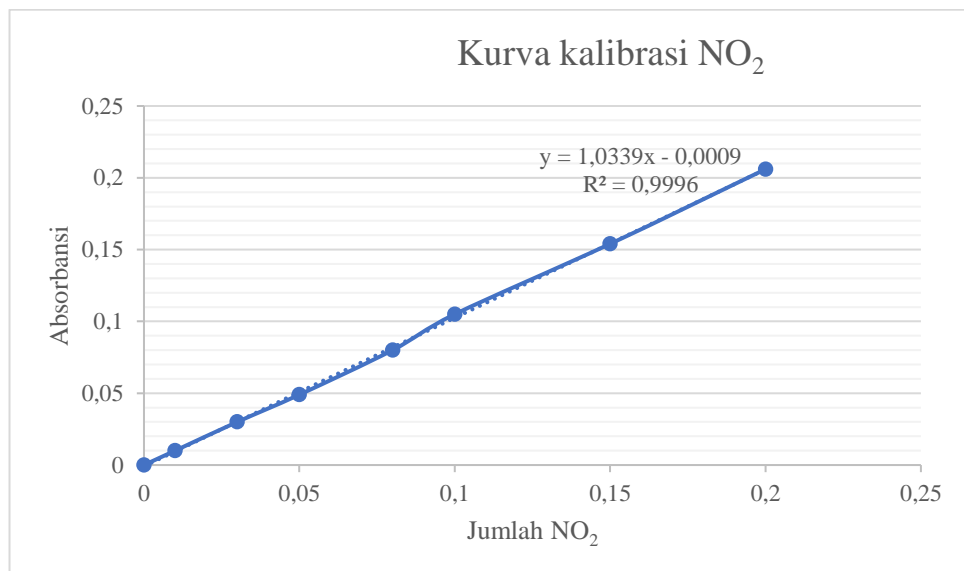
Lampiran 1 : Perhitungan Konsentrasi NO₂ di Udara Ambien

Contoh perhitungan konsentrasi NO₂ dititik 1 sesi pagi

- Perhitungan kurva kalibrasi

No	Kode	C std (µg)	Abs
1	Blanko	0	0
2	Std-1	0,01	0,01
3	Std-2	0,03	0,03
4	Std-3	0,05	0,049
5	Std-4	0,08	0,08
6	Std-5	0,1	0,105
7	Std-6	0,15	0,154
8	Std-7	0,2	0,206

Kurva kalibrasi :



- Perhitungan Volume Udara yang Diambil

Diketahui :

$$Q_1 = 0,4 \text{ L/menit}$$

$$Q_2 = 0,4 \text{ L/menit}$$

$$n = 2$$

$$t = 60 \text{ menit}$$

$$P_a = 737,1 \text{ mmHg}$$

$$T_a = 303,15 \text{ K}$$

$$V = \frac{Q_1+Q_2}{n} \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760}$$

$$V = \frac{0,4+0,4}{2} \times 60 \times \frac{737,1}{303,15} \times \frac{298}{760}$$

$$V = 22,881 \text{ L}$$

- Perhitungan jumlah NO₂ dari Contoh Uji Hasil Perhitungan Kurva Kalibrasi

Diketahui : nilai absorbansi = 0,015

$$b = \frac{\text{nilai absorbansi} + \text{nilai kurva kalibrasi (a)}}{\text{nilai kurva kalibrasi (b)}}$$

$$b = \frac{0,015 + 0,0009}{1,0339}$$

$$b = 0,0153 \text{ } \mu\text{g}$$

- Perhitungan Konsentrasi NO₂ di Udara Ambien

$$C = \frac{b}{V} \times \frac{10}{25} \times 1000$$

$$C = \frac{0,0153}{22,881} \times \frac{10}{25} \times 1000$$

$$C = 0,269 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$$

Lampiran 2 : Perhitungan Konsentrasi untuk Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan *Yeast*)

Contoh perhitungan konsentrasi untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*) di titik 1, NA 1

Diketahui :

Jumlah koloni per cawan petri = 98

Diameter cawan petri = 9 cm

Waktu paparan = 15 menit

- Luas permukaan cawan petri

$$l = \pi \times r^2$$

$$l = 3,14 \times 4,5^2$$

$$l = 63,5 \text{ cm}^2$$

- Konsentrasi untuk parameter biologi (bakteri, jamur, dan *yeast*)

$$N = \frac{5a \times 10^4}{b \times t}$$

$$N = \frac{(5 \times 98) \times 10^4}{63,5 \times 15}$$

$$N = 5144,4 \text{ CFU/m}^3$$

Lampiran 3 : Hasil Pengukuran CO₂

Hari, tanggal : Rabu, 10 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 1
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

No	Jam	Parameter			
		CO ₂ (ppm)	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
PAGI					
1	09:27	502	3	30	72,5
2	09:37	482	3	29,9	71
3	09:47	507	3	29,7	70,5
4	09:57	482	3	30	71,9
5	10:07	484	3	30,2	71,2
6	10:17	492	3	30,3	71,3
Rata-rata		492	3,0	30,0	71,4
SIANG					
1	13:35	482	4	34,9	59,5
2	13:45	511	4	35,1	59,7
3	13:55	609	4	35,4	54,4
4	14:05	513	4	35	53,5
5	14:15	482	4	34,9	54,2
6	14:25	479	4	34,5	56,1
Rata-rata		513	4,0	35,0	56,2
SORE					

1	15:10	482	4	34,2	56,1
2	15:20	482	4	33,9	56
3	15:30	503	4	33,5	55
4	15:40	506	4	33,4	57,6
5	15:50	510	4	33,4	59,2
6	16:00	488	4	33,2	56,1
Rata-rata		495	4,0	33,6	56,7
Rata-rata Harian		500	3,7	32,9	61,4

Hari, tanggal : Kamis, 11 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 2
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

No	Jam	Parameter			
		CO ₂ (ppm)	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
PAGI					
1	10:14	489	3	31,4	71,2
2	10:24	485	3	31,4	68,5
3	10:34	478	3	32,4	63,8
4	10:44	474	3	33,2	61,5
5	10:54	477	3	32,5	59,5
6	11:04	489	3	33,3	61,6
Rata-rata		482	3,0	32,6	64,4
SIANG					

1	12:12	543	5	34,5	59,4
2	12:22	544	5	34,8	58,7
3	12:32	574	5	34,2	58,3
4	12:42	507	5	33,2	63,2
5	12:52	638	5	33,6	60,3
6	13:02	499	5	33	61,9
Rata-rata		551	5,0	33,9	60,3
SORE					
1	14:30	512	5	26,9	80,5
2	14:40	497	4	27	79,2
3	14:50	491	4	26,6	86,4
4	15:00	507	4	26,8	87,1
5	15:10	574	4	26,9	85,2
6	15:20	522	4	26,9	88,1
Rata-rata		517	4,2	26,9	84,4
Rata-rata Harian		517	4,1	31,1	69,7

Hari, tanggal : Senin, 15 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 3
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

No	Jam	Parameter			
		CO ₂ (ppm)	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
PAGI					
1	09:04	500	4	27,2	68,5
2	09:14	504	4	27,8	67,4
3	09:24	500	4	28,4	63,6
4	09:34	549	4	29,1	63,9
5	09:44	498	4	28,4	64,9
6	09:54	543	4	29,4	64,6
Rata-rata		516	4,0	28,4	65,5
SIANG					
1	12:13	756	3	29,3	64,1
2	12:23	789	3	29,2	59,2
3	12:33	891	3	28,7	62,3
4	12:43	958	3	28,5	62,6
5	12:53	871	3	28,9	59,9
6	13:03	849	3	29,1	62,6
Rata-rata		852	3,0	29,0	61,8
SORE					
1	14:21	750	5	30	53,1

2	14:31	846	5	30,8	54,7
3	14:41	563	5	30,2	55,7
4	14:51	969	5	30,4	55,5
5	15:01	932	5	30,2	56
6	15:11	868	5	30,6	56,7
Rata-rata		821	5,0	30,4	55,3
Rata-rata Harian		730	4,0	29,2	60,9

Hari, tanggal : Sabtu, 13 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 1
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

No	Jam	Parameter			
		CO ₂ (ppm)	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
PAGI					
1	08:55	498	3	27,7	68,2
2	09:05	512	3	27,8	68,5
3	09:15	403	3	27,8	68,6
4	09:25	411	3	28,9	68,9
5	09:35	501	3	28,8	70,2
6	09:45	414	3	28,8	70,1
Rata-rata		457	3,0	28,3	69,1
SIANG					
1	11:15	568	4	32,1	58,7

2	11:25	401	4	33,3	56,7
3	11:35	489	4	32,3	60,6
4	11:45	576	4	33,3	61,6
5	11:55	434	4	32,1	58,7
6	12:05	403	4	32,2	59,4
Rata-rata		479	4,0	32,6	59,3
SORE					
1	14:00	564	4	33,6	59,7
2	14:10	477	4	32,9	58,6
3	14:20	533	4	33,1	63,7
4	14:30	512	4	33,3	58,9
5	14:40	411	4	33,1	62,1
6	14:50	442	4	32,9	61,2
Rata-rata		490	4,0	33,2	60,7
Rata-rata Harian		475	3,7	31,3	63,0

Hari, tanggal : Sabtu, 13 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 2
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

No	Jam	Parameter			
		CO ₂ (ppm)	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
PAGI					
1	10:05	433	3	29,1	70,2

2	10:15	478	3	29,2	68,5
3	10:25	513	3	29,2	64,2
4	10:35	409	3	28,9	66,2
5	10:45	523	3	29,3	69,8
6	10:55	416	3	28,8	70,1
Rata-rata		462	3,0	29,1	68,2
SIANG					
1	12:30	598	4	33,8	62,8
2	12:40	432	4	33,9	59,7
3	12:50	501	4	33,9	64,5
4	13:00	411	4	32,7	58,7
5	13:10	403	4	33,2	61,3
6	13:20	498	4	34,1	60,5
Rata-rata		474	4,0	33,6	61,3
SORE					
1	15:05	467	4	32,1	58,8
2	15:15	404	4	31,9	57,4
3	15:25	534	4	30,4	60,2
4	15:35	499	4	30,1	61,4
5	15:45	473	4	30,9	59,9
6	15:55	567	4	31,2	56,2
Rata-rata		491	4,0	31,1	59,0
Rata-rata Harian		476	3,7	31,3	62,8

Hari, tanggal : Minggu, 14 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 3
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

No	Jam	Parameter			
		CO ₂ (ppm)	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
PAGI					
1	09:10	403	4	29,4	63,9
2	09:20	495	4	28,3	66,9
3	09:30	449	4	29,4	63,9
4	09:40	416	4	28,8	64,8
5	09:50	404	4	28,5	66,8
6	10:00	497	3	28,9	63,9
Rata-rata		444	3,8	28,9	65,0
SIANG					
1	12:18	401	4	29,2	58,9
2	12:28	497	4	28,9	57,2
3	12:38	492	4	29,5	57,1
4	12:48	428	4	29,3	56,2
5	12:58	494	4	29,7	56,8
6	13:08	498	4	29,5	57,1
Rata-rata		468	4,0	29,4	57,2
SORE					
1	14:27	409	4	30,1	58,6

2	14:37	493	4	29,3	61
3	14:47	442	4	29,6	60,5
4	14:57	467	4	30,2	59,7
5	15:07	489	4	29,8	59,2
6	15:17	499	4	29,8	61,1
Rata-rata		467	4,0	29,8	60,0
Rata-rata Harian		460	3,9	29,3	60,8

Lampiran 4 : Hasil Pengukuran Konsentrasi NO₂

Hari, tanggal : Rabu, 10 Mei 2023
Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
Titik sampling : 1
Cuaca : Cerah
Musim : Kemarau

Jam	Q1 (L/menit)	Q2 (L/menit)	Suhu Udara (°C)	Tekanan Udara (mmHg)	Nilai Absorbansi
09:17 - 10:17	0,4	0,4	30	737,1	0,015
12:25 - 13:25	0,4	0,4	35	734,8	0,019
15:00 - 16:00	0,4	0,4	33,6	734,6	0,019

Hari, tanggal : Kamis, 11 Mei 2023
Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
Titik sampling : 2
Cuaca : Cerah
Musim : Kemarau

Jam	Q1 (L/menit)	Q2 (L/menit)	Suhu Udara (°C)	Tekanan Udara (mmHg)	Nilai Absorbansi
09:04 - 10:04	0,4	0,4	32,6	738	0,014
12:02 - 13:02	0,4	0,4	33,9	736,6	0,02
14:20 - 15:20	0,4	0,4	26,9	737,5	0,016

Hari, tanggal : Senin, 15 Mei 2023
Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
Titik sampling : 3
Cuaca : Cerah
Musim : Kemarau

Jam	Q1 (L/menit)	Q2 (L/menit)	Suhu (°C)	Tekanan Udara (mmHg)	Nilai Absorbansi
08:54 - 09:54	0,4	0,4	27,9	739,8	0,032
12:03 - 13:03	0,4	0,4	29	738,7	0,045

14:11 - 15:11	0,4	0,4	30,4	737,5	0,047
---------------	-----	-----	------	-------	-------

Hari, tanggal : Sabtu, 13 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 1
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

Jam	Q1 (L/menit)	Q2 (L/menit)	Suhu (°C)	Tekanan Udara (mmHg)	Nilai Absorbansi
08:45-09:45	0,4	0,4	28,3	739,3	0,015
11:05-12:05	0,4	0,4	32,6	738,4	0,018
13:50-14:50	0,4	0,4	33,2	737,6	0,014

Hari, tanggal : Sabtu, 13 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 2
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

Jam	Q1 (L/menit)	Q2 (L/menit)	Suhu (°C)	Tekanan Udara (mmHg)	Nilai Absorbansi
09:55-10:55	0,4	0,4	29,1	737,9	0,013
12:20-13:20	0,4	0,4	33,6	738,7	0,02
14:55-15:55	0,4	0,4	31,1	737,8	0,015

Hari, tanggal : Minggu, 14 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 3
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

Jam	Q1 (L/menit)	Q2 (L/menit)	Suhu (°C)	Tekanan Udara (mmHg)	Nilai Absorbansi
09:00 - 10:00	0,4	0,4	28,9	739,3	0,013
12:08 - 13:08	0,4	0,4	29,4	738,1	0,017

14:17 - 15:17	0,4	0,4	29,8	737	0,015
---------------	-----	-----	------	-----	-------

Lampiran 5 : Hasil Pengukuran untuk Konsentrasi Parameter Biologi (Bakteri, Jamur, dan Yeast)

Hari, tanggal : Senin, 15 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 1
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

NA	Jam	Jumlah koloni per cawan petri	Luas permukaan cawan petri (cm ²)	Waktu paparan (menit)	Microbial (CFU/m ³)
1	14:01 - 14:16	98	63,5	15	5144,4
2	14:18-14:33	122	63,5	15	6404,2
Rata-rata					5774,28

Hari, tanggal : Senin, 15 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 2
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

NA	Jam	Jumlah koloni per cawan petri	Luas permukaan cawan petri (cm ²)	Waktu paparan (menit)	Microbial (CFU/m ³)
1	11:50 - 12:05	105	63,5	15	5511,8
2	12:09-12:24	78	63,5	15	4094,5
Rata-rata					4803,15

Hari, tanggal : Senin, 15 Mei 2023
 Lokasi : Bengkel X Yogyakarta
 Koordinat lokasi : -7.725xxx°, 110.399xxx°
 Titik sampling : 3
 Cuaca : Cerah
 Musim : Kemarau

NA	Jam	Jumlah koloni per cawan petri	Luas permukaan cawan petri (cm ²)	Waktu paparan (menit)	Microbial (CFU/m ³)
1	10:03 - 10:18	88	63,5	15	4619,4
2	10:21-10:36	117	63,5	15	6141,7
Rata-rata					5380,58

RIWAYAT HIDUP



Fitasya Anshelia Raihantami atau biasa dipanggil Anshel lahir di Surakarta, 27 Juni 2001. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Teguh Santosa dan Ibu Meiana Dewi Utami. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDIT At-Taqwa Pusat Bekasi pada tahun 2007 – 2013. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPIT Gema Nurani pada tahun 2013 – 2016 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 4 Bekasi pada tahun 2016 – 2019. Kemudian pada tahun 2019 – 2023 penulis melanjutkan pendidikan S1 program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.