

**PEMETAAN KUALITAS UDARA DAN IMPLIKASINYA
TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT DI
KOTA PAREPARE**

DAHRI



**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PAREPARE**

2024

**PEMETAAN KUALITAS UDARA DAN IMPLIKASINYA
TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT DI
KOTA PAREPARE**

DAHRI

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Pada Konsentrasi Kesehatan Lingkungan
Program Studi Kesehatan Masyarakat**

**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PAREPARE
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Pemetaan Kualitas Udara dan Implikasinya
Terhadap Kesehatan Masyarakat di Kota
Parpare.
Nama : Dahri
NIM : 220240011
Konsentrasi : Kesehatan Lingkungan
Program Studi : Kesehatan Masyarakat
Fakultas : Ilmu Kesehatan

Menyetujui,



Prof. Dr. Andi Nuddin, M.Si
Pembimbing I



Dr. Rahmi Amir, S.Si, M.Kes
Pembimbing II

Mengetahui,

Dekan
Fakultas Ilmu Kesehatan



Haniarti, S. Si, Apt. M.Kes
• NBM. 865740

Ketua Program Studi
Kesehatan Masyarakat



Dr. Rahmi Amir, S.Si, M.Kes
NBM. 888893

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi oleh Dahri, NIM 220240011 diteima oleh panitia ujian tutup skripsi Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Parepare (FIKES UMPAR) SK Nomor 251/SK.FIKES/11.3.AU/D/2024, bertepatan dengan Tanggal 27 Juli 2024 untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat (SKM) yang dipertahankan di depan penguji pada Hari Senin Tanggal 26 Agustus 2024.

PANITIA UJIAN

1. Ketua : Dr. Rahmi Amir, S.Si., M.Kes
2. Sekretaris : Fitriani Umar, SKM., M.Kes



PENGUJI UJIAN

1. Prof. Dr. Andi Nuddin, M.Si
2. Dr. Rahmi Amir, S.Si, M.Kes
3. Usman, SKM., M.Kes
4. Dr. H. Abdul Majid, SKM., M.Kes



Disahkan Oleh
Fakultas Ilmu Kesehatan
Dekan,



Haniarti, S.Si., Apt., M.Kes
NBM. 865740

Mengetahui
Ketua Program Studi
Kesehatan Masyarakat



Dr. Rahmi Amir, S.Si., M.Kes
NBM. 888893

ABSTRAK

Parepare menjadi salah satu wilayah yang mengalami pencemaran udara ambien oleh konsentrasi NO_2 dan SO_2 . Pada konsentrasi tertentu, NO_2 dan SO_2 dapat menyebabkan implikasi pada kesehatan sehingga memerlukan upaya dari pemerintah dan masyarakat untuk meminimalisir dampak dari pencemaran ini. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengetahui sebaran konsentrasi SO_2 dan NO_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pemantauan NO_2 , konsentrasi rata-rata yang didapatkan adalah $91,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masuk dalam kategori pencemaran sedang berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Kategori ini masih dapat diterima oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Sebaran NO_2 tertinggi di Parepare berada di Kelurahan Kampung Pisang, Ujung Sabbang, dan Lakessi dengan nilai konsentrasi $0,000054 \text{ mol}/\text{m}^2 - 0,000055 \text{ mol}/\text{m}^2$ atau setara $109,13 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 112,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada pemantauan SO_2 , konsentrasi rata-rata yang didapatkan adalah $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang masuk dalam kategori pencemaran tidak sehat berdasarkan ISPU. Kondisi ini dapat menyebabkan dampak negatif pada kesehatan manusia, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, orang tua, dan individu dengan gangguan pernapasan. Sebaran SO_2 tertinggi di Parepare berada di Kelurahan Lumpue dan Watang Bacukiki dengan nilai konsentrasi antara $0,00019 \text{ mol}/\text{m}^2 - 0,00022 \text{ mol}/\text{m}^2$ atau setara dengan $543 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 572 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan hasil penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa masyarakat di wilayah dengan konsentrasi tertinggi NO_2 dan SO_2 , seperti Kelurahan Kampung Pisang, Ujung Sabbang, Lakessi (untuk NO_2) dan Kelurahan Lumpue, Watang Bacukiki (untuk SO_2), perlu lebih memperhatikan implikasi dan upaya pencegahan untuk menghindari penyakit akibat polutan ini.

Kata Kunci: Kualitas Udara NO₂ dan SO₂, Implikasi Konsentrasi NO₂ dan SO₂, Sistem Informasi Geografis (SIG).

ABSTRACT

Parepare is one of the areas experiencing ambient air pollution by NO₂ and SO₂ concentrations. At certain concentrations, NO₂ and SO₂ can cause health implications that require efforts from the government and the community to minimize the impact of this pollution. This study used a descriptive qualitative method with a Geographic Information System (GIS) approach to determine the distribution of SO₂ and NO₂ concentrations. The results showed that in NO₂ monitoring, the average concentration obtained was 91.39 µg/m³, which falls into the category of moderate pollution based on the Air Pollution Standards Index (ISPU). This category is still acceptable for humans and other living things. The highest distribution of NO₂ in Parepare is in Kampung Pisang, Ujung Sabbang, and Lakessi villages with a concentration value of 0.000054 mol/m² - 0.000055 mol/m² or equivalent to 109.13 µg/m³ - 112.85 µg/m³. In SO₂ monitoring, the average concentration obtained is 228 µg/m³, which is included in the unhealthy pollution category based on ISPU. This condition can cause negative impacts on human health, especially on vulnerable groups such as children, the elderly, and individuals with respiratory disorders. The highest distribution of SO₂ in Parepare is in Lumpue and Watang Bacukiki urban villages with concentration values between 0.00019 mol/m² - 0.00022 mol/m² or equivalent to 543 µg/m³ - 572 µg/m³. Based on the results of the above research, it can be concluded that people in areas with the highest concentrations of NO₂ and SO₂, such as Kampung Pisang, Ujung Sabbang, Lakessi (for NO₂) and Lumpue, Watang Bacukiki (for SO₂), need to pay more attention to the implications and prevention efforts to avoid diseases caused by these pollutants.

Keywords: NO₂ and SO₂ Air Quality, Implications of NO₂ and SO₂ Concentrations, Geographic Information System (GIS).

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dahri
NIM : 220240011
Konsentrasi : Kesehatan Lingkungan
Program Studi : Kesehatan Masyarakat
Fakultas : Ilmu Kesehatan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Skripsi dengan judul “Pemetaan Kualitas Udara dan Implikasinya Terhadap Kesehatan Masyarakat di Kota Parepare” merupakan karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan tiruan, salinan, atau duplikasi dari skripsi lain.
2. Bilamana suatu hari terbukti terdapat tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Parepare, 1 September 2024

Yang Memberi Pernyataan



Dahri

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Luwu, Sulawesi Selatan pada tanggal 6 November 2001 dari pasangan orang tua Umar dan Suriani sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Pada tahun 2014 penulis lulus dari SDN 7 Komba, pada tahun 2017 penulis lulus dari SMP 1 Larompong dan pada tahun 2020 penulis lulus dari SMAN 3 Luwu. Dan pada tahun 2020 penulis melanjutkan studi di Universitas Muhammdiyah Parepare dan terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Ilmu Kesehatan, dengan Program Studi Kesehatan Masyarakat dengan mengambil konsentrasi Kesehatan Lingkungan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat limpahan rahmat dan hidayah-nya sehingga pada kesempatan ini penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemetaan Kualitas Udara dan Implikasinya Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Kota Parepare” yang merupakan syarat dalam rangka menyelesaikan studi untuk menempuh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat di Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Parepare.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan segala bentuk kekurangan dalam penyusunan ini karena tak luput dari keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Namun dengan segala kerendahan hati, besar harapan penulis, semoga dengan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi pihak lain pada umumnya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan serta dukungan yang diberikan berupa bimbingan yang sangat berharga dari pihak mulai dari pelaksanaan hingga penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang yang penulis hormati dan cintai yang membantu secara langsung maupun tidak langsung selama pembuatan skripsi ini. Terutama Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Umar T dan Ibunda Suriani, terima kasih atas segala doa dan pengorbanan yang mengiringi setiap Langkah untuk menyelesaikan Pendidikan ini. Terima kasih sudah berjuang, membesarkan dan mendidik penulis sampai mendapatkan gelar sarjana.

Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. H. Jamaluddin Ahmad, S.Sos., M.Si sebagai Rektor Universitas Muhammadiyah Parepare.

2. Haniarti S.Si., Apt., M.Kes. sebagai Dekan Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Parepare.
3. Dr. Rahmi Amir S.Si., M.Kes sebagai Ketua Program Studi Kesehatan Masyarakat Universitas Muhammadiyah Parepare dan Bapak/Ibu Dosen serta Staf Tata Usaha Fikes Umpar
4. Bapak Prof. Dr. Andi Nuddin M.Si selaku Dosen Pembimbing I yang sangat sabar membimbing dan memberikan arahan dalam penyusunan laporan.
5. Ibu Dr. Rahmi Amir S.Si., M.Kes selaku Dosen Pembimbing II yang turut membimbing penulis dan membantu dalam memperbaiki kekurangan dalam penyusunan skripsi.
6. Dosen penguji bapak Usman SKM., M.Kes dan bapak Dr. H. Abdul Majid, SKM., M.Kes yang selalu meluangkan waktu dan memberikan pengetahuan, saran perbaikan serta motivasi kepada penulis.
7. Kepada saudara penulis Ania Ferli terimakasih telah memberikan semangat dalam proses penyelesaian Pendidikan ini.
8. Pemilik stambuk JIA120012. Terima kasih telah meluangkan waktu, memberi semangat dan motivasi selama penulisan skripsi, serta menjadi pendengar yang baik.
9. Teman-teman penulis, Dirga Rahmat, Muhammad Ilham dan Muhammad Farid yang telah kebersamaan penulis dari Maba sampai selesainya Pendidikan.
10. Teman-teman PMM Fikes yang telah membantu selama proses perkuliahan, pertukaran mahasiswa, magang dan proses penelitian skripsi.
11. Seluruh teman-teman seperjuangan di kelas regular A dan kelas Kesling Angkatan 2020 yang telah sama-sama menempuh masa perkuliahan dengan semangat dan kompak.

12. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu kelancaran penelitian dan penyusunan skripsi.

Atas segala bentuk perhatian dan bantuan dari semua pihak yang ikut berkontribusi dalam penulisan ini, penulis menghaturkan doa kepada Allah SWT. Semoga diberikan balasan oleh-Nya dengan pahala yang berlipat ganda.

Dengan penuh kerendahan hati, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun guna penyempurnaan penulisan skripsi. Akhir kata, penulis mengharapkan semoga tujuan dari pembuatan skripsi ini dapat tercapai dengan yang diharapkan.

Parepare, 20 Juni 2024



Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PENGESAHAN SKRIPSI	
.....	iEr
ror! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	vii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ix
RIWAYAT HIDUP	x
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Telaah Pustaka	6
B. Kerangka Konsep	21
C. Alur Penelitian	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
A. Desain Penelitian	23
B. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian.....	23
C. Tahap Pengumpulan Data	23
D. Instrumen Penelitian	25
E. Pengolahan Data.....	25

F.	Analisis Data	25
G.	Penyajian Data.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		28
A.	Gambaran Lokasi Penelitian	28
B.	Parameter Nitrogen Dioksida (NO ₂)	31
	Implikasi Nilai Konsentrasi NO ₂ pada Kesehatan Masyarakat	36
	Upaya Pencegahan untuk Meminimalisir Penyakit Akibat Kualitas NO ₂	38
C.	Parameter Sulfur Dioksida (SO ₂)	45
	Peta Persebaran Sulfur Dioksida (SO ₂) di Kota Parepare	48
	Implikasi Nilai Konsentrasi SO ₂ pada Kesehatan Masyarakat	50
	Upaya Pencegahan Untuk Meminimalisir Penyakit Akibat Kualitas SO ₂	53
BAB V PENUTUP		58
A.	Kesimpulan	58
B.	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		60

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku Mutu Udara ambien Indonesia	11
Tabel 2. Batas ISPU Dalam Satuan SI.....	12
Tabel 3. Kategori ISPU	13
Tabel 4. Jenis Data, Metode Pengambilan Data dan Sumber Data.....	24
Tabel 5. Daftar Nama Kecamatan dan Kelurahan di Kota Parepare	29
Tabel 6. Sebaran NO ₂ di Kota Parepare	35
Tabel 7. Dampak paparan NO ₂ pada kategori sedang.....	37
Tabel 8. Upaya pencegahan masyarakat untuk meminimalisir penyakit akibat NO ₂	39
Tabel 9. Upaya pencegahan pemerintah untuk meminimalisir penyakit akibat NO ₂	43
Tabel 10. Sebaran SO ₂ di Kota Parepare	49
Tabel 11. Dampak paparan SO ₂ pada kategori tidak sehat ..	51
Tabel 12. Upaya pencegahan masyarakat untuk meminimalisir penyakit akibat SO ₂	54
Tabel 13. Upaya pencegahan pemerintah untuk meminimalisir penyakit akibat SO ₂	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerangka Konsep	21
Gambar 2. Alur Penelitian.....	22
Gambar 3. Peta Administrasi Kota Parepare	28
Gambar 4. Eksport data NO ₂ dari <i>Google Earth Engine</i> dalam satuan mol/m ²	31
Gambar 5. Grafik nilai konsentrasi NO ₂ dalam satuan µg/m ³	32
Gambar 6. Peta Sebaran NO ₂ di Kota Parepare	34
Gambar 7. Grafik Konsentrasi SO ₂ dalam satuan mol/m ² ...	46
Gambar 8. Nilai rata-rata konsentrasi SO ₂ dalam satuan µg/m ³	46
Gambar 9. Gambar Peta Sebaran SO ₂ di Kota Parepare	48

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Udara yang tercemar merupakan tantangan di setiap bagian dunia. Lebih dari 99% orang di seluruh dunia menghirup udara yang terkontaminasi. 90% polusi udara disebabkan oleh aktivitas manusia, 10% disebabkan oleh aktivitas alam [1]. Polusi udara lingkungan terutama disebabkan oleh meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil dalam kegiatan transportasi dan industri. Menurut WHO, Polusi udara dipandang sebagai risiko kesehatan yang utama. Diperkirakan bahwa polusi udara di perkotaan dan pedesaan menyebabkan 4,2 juta kematian dini pada tahun 2016. Sekitar 91% kematian dini terjadi di Asia Tenggara dan Pasifik Barat. Nitrogen dioksida (NO₂) dan sulfur dioksida (SO₂) adalah polutan yang paling berbahaya bagi kesehatan manusia yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa konsentrasi polutan yang tinggi dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata, batuk, dan penyakit lainnya. NO₂ dapat masuk ke dalam saluran pernapasan, terutama mempengaruhi selaput lendir dan jaringan paru-paru. Dampak utama polutan SO₂ pada manusia adalah iritasi pada sistem pernapasan, dengan paru-paru sebagai target utama. [2].

Kualitas udara sangat terkait dengan penyakit pernapasan pada anak balita dan orang dewasa. WHO memperkirakan bahwa polusi udara bertanggung jawab atas 3,8 juta kematian dini di seluruh dunia. Pneumonia (27%), stroke (18%), penyakit paru obstruktif kronik (20%), penyakit jantung iskemik (27%), dan kanker paru-paru (8%) merupakan penyebab utama kematian ini [3]. Setelah kualitas air, kebersihan dan sanitasi, polusi udara memiliki dampak yang cukup besar terhadap gangguan perkembangan dan pertumbuhan yang terhambat pada anak-anak di bawah usia lima tahun. [4].

Udara memainkan peran penting dalam lingkungan untuk kelangsungan hidup semua spesies. Komposisi gas tertentu dianggap normal, yang menegaskan bahwa udara adalah kondisi penting untuk kelangsungan hidup. Namun demikian, keberadaan gas di atmosfer dapat menyebabkan perubahan komposisi udara, bahkan gangguan dan polusi udara. Keberadaan zat asing dalam waktu lama dapat menyebabkan perubahan komposisi udara, yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.[5].

Polusi udara adalah masalah lingkungan yang memengaruhi manusia, hewan, tanaman, material, dan bangunan, serta memengaruhi kualitas air hujan [2]. Polusi udara memiliki konsekuensi kesehatan jangka pendek dan jangka panjang. Penyakit yang paling umum termasuk penyakit pernapasan, penyakit jantung, kanker berbagai organ tubuh, masalah reproduksi, dan tekanan darah tinggi [6]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa polusi udara yang melebihi standar dapat menyebabkan kematian. Kematian dini dan efek kesehatan jangka panjang yang merugikan lainnya terkait erat dengan polusi udara [7]. Tingkat keparahan polutan udara dan emisi ke lingkungan sangat dipengaruhi oleh kegiatan industri, transportasi jalan raya, pembakaran sampah di luar ruangan, sumber biogenik, debu, dan sumber domestik di dalam ruangan [3]. Udara yang bersih dan segar memainkan peran penting dalam kelangsungan hidup manusia. Saluran pernapasan diperkaya oleh udara bersih, yang mengurangi risiko penyakit kronis, memperpanjang usia, meningkatkan daya tahan tubuh dan konsentrasi, serta memperbaiki suasana hati [8].

Kualitas udara di Indonesia terus memburuk, menurut *Air Quality Real Time Index* (AQLI). Menurut WHO, 91% populasi tinggal di daerah dengan tingkat polusi udara yang melebihi standar keamanan. [9]. Menurut dinas kesehatan setempat, ISPA menyerang 354.446 orang di Sulawesi

Selatan, berdasarkan sepuluh penyakit yang paling sering terjadi di fasilitas kesehatan tingkat pertama antara Januari dan Desember 2022. ISPA menempati urutan ketiga di antara penyakit yang paling sering diderita oleh masyarakat di Sulawesi Selatan, setelah influenza/pilek dengan 457.813 kasus dan hipertensi esensial dengan 420.739 kasus [10]. Polutan udara seperti CO, NO_x, Sox, O₃, HC, partikulat, CO₂, H₂, H₂S dan CO₂ memiliki efek yang berbahaya bagi kesehatan [11].

Polutan di udara ambien yang berpotensi tinggi menyebabkan gangguan pernapasan pada manusia adalah NO₂, SO₂, karena bersifat iritan pada saluran pernapasan manusia. Nitrogen dioksida merupakan salah satu komponen pencemar udara yang bersifat racun berbau tajam menyengat hidung dan berwarna merah kecoklatan yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Studi menunjukkan adanya hubungan antara paparan nitrogen dioksida jangka pendek, antara 30 menit sampai 24 jam, dengan efek samping pernafasan termasuk peradangan saluran nafas pada orang sehat dan peningkatan gejala nafas pada penderita asma [12]. Implikasi gas NO₂ yang menyebabkan gejala mata perih dan berair pada konsentrasi rendah, paparan jangka panjang akan meningkatkan penyakit pernapasan seperti bronkitis kronik, pembengkakan paru-paru sehingga mengakibatkan sulit bernafas dan berujung pada kematian. Paparan gas SO₂ menimbulkan efek kesehatan seperti timbulnya iritasi tenggorokan pada konsentrasi 8-12 ppm, menyebabkan iritasi mata pada konsentrasi 20 ppm dan terjadi pembengkakan membrane mukosa serta pembentukan mucus, memperburuk seseorang dengan kondisi asma, PPOK dan *bronchitis* [11]. Kota Parepare menjadi salah satu wilayah yang mengalami pencemaran udara ambien oleh konsentrasi SO₂ dan NO₂. Udara ambien merupakan udara bebas dipermukaan bumi pada bagian troposfir yang mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk

hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya [11]. Pengukuran kualitas udara biasanya masih menggunakan alat *portable* seperti *fan anemometer*, *air quality monitor* dan *Global Positioning System* (GPS). Maka dari itu adanya suatu teknologi mengenai pemetaan secara digital melalui Sistem Informasi Geografis (SIG) yang mampu digunakan untuk mengetahui persebaran kualitas udara terutama di kawasan perkotaan dalam bentuk grafik dan peta persebaran. Pemetaan kualitas udara dengan memanfaatkan aplikasi penginderaan jauh *Software Quantum GIS*, yaitu dengan menggunakan data satelit *Sentinel 5 Precursor* dengan memanfaatkan *TROPOspheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) dapat dilakukan pemantauan konsentrasi gas SO_2 dan NO_2 di Kota Parepare [13].

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana efek SO_2 dan NO_2 dan implikasinya pada kesehatan?
- b. Dimana daerah dengan sebaran konsentrasi terendah sampai tertinggi SO_2 dan NO_2 di Kota Parepare?
- c. Bagaimana upaya preventif yang dilakukan untuk meminimalisir penyakit akibat kualitas udara SO_2 dan NO_2 ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas penelitian ini bertujuan :

- a. Untuk mengidentifikasi efek SO_2 dan NO_2 dan implikasinya pada kesehatan.
- b. Untuk melihat peta sebaran kualitas udara ambien di Kota Parepare

- c. Untuk memahami dan menerapkan upaya yang dilakukan dalam meminimalisir penyakit akibat kualitas SO₂ dan NO₂ di Kota Parepare.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat yaitu:

- a. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait implikasi kesehatan yang ditimbulkan akibat pencemaran udara SO₂ dan NO₂ di kota Parepare
- b. Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi kondisi kualitas udara khususnya parameter SO₂ dan NO₂ Kota Parepare sehingga diharapkan pemerintah dan masyarakat Kota Parepare yang tinggal atau beraktivitas di daerah dengan sebaran tertinggi lebih meminimalisir agar tidak berdampak pada kesehatannya.
- c. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi upaya pencegahan terhadap risiko kesehatan yang ditimbulkan oleh konsentrasi SO₂ dan NO₂. Upaya ini dapat dilakukan oleh pemerintah ataupun masyarakat Kota Parepare. Sehingga masyarakat kota parepare dapat terhindar dari penyakit akibat pencemaran udara.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999). Adanya gas-gas yang diemisikan ke udara bebas oleh kendaraan bermotor akan mempengaruhi kualitas udara. Gas-gas yang diemisikan oleh kendaraan bermotor berupa CO, SO₂ dan NO₂. Kehadiran gas-gas tersebut apabila berlangsung lama dan dalam jumlah tertentu akan menjurus pada pencemaran udara [14].

Penyebab Pencemaran Udara

Penyebab pencemaran udara dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu oleh perkotaan serta industri, oleh pedesaan atau pertanian, serta oleh sumber alami. Penyebab dari perkotaan serta industri ialah berasal dari kemajuan dan perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi yang menyebabkan banyaknya bermunculan pabrik-pabrik industri, pembangkit listrik, serta kendaraan bermotor. Sedangkan untuk sumber dari pedesaan atau pertanian yaitu akibat dari penggunaan pestisida sebagai zat senyawa kimia, virus dan zat-zat lain yang digunakan guna melindungi tanaman atau bagian tanaman. Dan untuk sumber alami bersumber dari alam, contohnya seperti abu vulkanik yang dikeluarkan akibat gunung meletus, gas vulkanik, debu yang beterbangan, bau yang tidak sedap akibat proses pembusukan sampah dan lain sebagainya [15].

Faktor Penyebab Pencemaran Udara

Pencemaran udara diakibatkan 2 faktor, yaitu faktor alami dan faktor manusia.

a. Faktor Alami

Faktor alami pemicu tercemarnya udara diantaranya, kebakaran hutan, meletusnya gunung berapi dan kegiatan mikroorganisme. Meletusnya gunung berapi mengeluarkan abu dan gas vulkanik, kebakaran hutan menimbulkan asap yang tak bagus untuk kesehatan, kegiatan tumbuhan atau hewan yang mati atau mengurai di tanah akan menghasilkan bau-bau tak sedap. Akan tetapi faktor alam ini tidak sebanding dengan faktor manusia, bahkan kebakaran juga bisa disebabkan oleh manusia itu sendiri [2].

b. Faktor Manusia

Faktor manusia, berbagai aktivitas manusia menyebabkan pencemaran udara. Diantaranya melalui pabrik-pabrik industri, kendaraan bermotor, limbah pertanian, kegiatan pertambangan, pembakaran sampah, hingga sampah rumah tangga. Pabrik-pabrik industri merupakan penyebab terbesar pencemaran udara melalui limbah asap pabrik atau industri. Asap-asap keluar dari cerobong ada yang tanpa proses penyaringan, sehingga zat yang keluar dari pabrik bisa dibilang zat yang berbahaya contohnya seperti karbon monoksida, hidrokarbon dan lainnya yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia, alam dan makhluk hidup lainnya. Kendaraan roda dua dan empat merupakan alat transportasi yang begitu terpakai dalam kehidupan sekarang ini.

Asap dari kendaraan bermotor semakin lama semakin banyak mengikuti jumlah pemakainya, hal itu menyebabkan pencemaran udara. Limbah

pertanian, contohnya seperti penggunaan pupuk yang terlalu berlebihan menjadikan gas amonia yang terkandung dalam pupuk tersebut keluar, dan hal itu menjadi salah satu diantara penyebab hujan asam. Kegiatan pertambangan mengambil sesuatu yang ada di dalam bumi sehingga banyak polutan yang dikeluarkan, seperti bahan kimia dan debu yang begitu banyak menjadikan itu sebagai penyebab pencemaran udara. Pembakaran sampah atau tumpukan sampah yang dilakukan oleh manusia tentunya akan menghasilkan bau-bau yang sangat menyengat hingga mencemari udara [2].

Jenis-jenis Pencemaran Udara

Kozak serta Sudarmo dalam Purnomohadi (1995), berpendapat bahwa terdapat dua wujud emisi dari faktor ataupun senyawa pencemar udara ialah pencemar udara primer dan pencemar udara sekunder.

a. Pencemar Udara Primer

Pencemar udara primer adalah emisi unsur-unsur pencemar hawa langsung ke suasana dari sumber-sumber diam ataupun bergerak. Pencemaran hawa primer ini memiliki waktu paruh di suasana yang besar pula, misalnya CO, CO₂, NO₂, SO₂, CFC, Cl₂, partikel debu, dan lain-lain.

b. Pencemar Udara Sekunder

Pencemar udara sekunder adalah emisi pencemar hawa dari hasil proses raga serta kimia di suasana dalam wujud fotokimia (*photochemistry*) yang biasanya bertabiat reaktif serta hadapi perubahan fisik kimia jadi faktor ataupun senyawa. Wujudnya juga berbeda atau berganti dari dikala diemisikan sampai sehabis terdapat di suasana,

misalnya ozon (O_3), aldehida, hujan asam, serta yang lainnya.

Telaah Pustaka Kualitas Udara Ambien

Udara ambien diatur oleh Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Indonesia. Peraturan ini mendefinisikan udara ambien sebagai udara bebas yang ada di permukaan bumi, lebih khusus lagi di lapisan troposfer, di dalam yurisdiksi Republik Indonesia, dan yang memiliki efek pada manusia, termasuk kesehatan manusia, makhluk hidup dan lingkungan hidup lainnya. Zat-zat berbahaya yang terdapat di atmosfer adalah sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2).

a. Sulfur Dioksida (SO_2)

Senyawa sulfur dioksida (SO_2) adalah salah satu bahan kimia yang tidak berbau dan tidak berwarna, serta dapat larut dengan mudah dalam air. Emisi dari kegiatan pembakaran yang mencemari atmosfer melibatkan senyawa seperti sulfur dioksida. Sumber zat ini berasal dari hasil pembakaran yang mengalami proses oksidasi, mengubahnya menjadi asam sulfat, yang kemudian dapat memicu fenomena hujan asam [15].

b. Nitrogen Dioksida (NO_2)

NO_2 adalah salah satu jenis polutan yang dapat merugikan kualitas udara serta berimplikasi negatif pada kesehatan manusia dan ekosistem. Gas NO_2 termasuk dalam prekursor utama pembentukan ozon (O_3) di atmosfer. NO_2 merupakan bagian dari kelompok gas yang sangat reaktif yang dikenal sebagai Oksida Nitrogen atau Nitrogen Oksida (NO_x). Sumber NO_2 di udara ambien dapat berasal dari proses alami di atmosfer dan permukaan bumi, seperti produksi oleh tanaman, tanah, dan air. Selain

itu, NO_2 juga dapat timbul dari aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, lalu lintas kendaraan bermotor atau emisi knalpot, proses penyulingan bensin dan logam, pembangkit listrik tenaga batu bara, kegiatan industri manufaktur, serta penggunaan perumahan. NO_2 turut berperan dalam pembentukan kabut fotokimia yang berimplikasi negatif pada kesehatan manusia dan ekosistem. Paparan NO_2 dapat meningkatkan risiko infeksi pernapasan [16].

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 diadopsi oleh pemerintah Indonesia untuk mengatur kualitas udara ambien di tingkat nasional. Peraturan ini mendefinisikan baku mutu sebagai nilai kualitas udara ambien maksimum yang digunakan sebagai acuan untuk mencegah pencemaran udara di Indonesia. [17]. Baku mutu udara ambien Indonesia dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Baku Mutu Udara Ambien Indonesia

ISPU	24 Jam	24 Jam	24 Jam	24 Jam	24	24 Jam	24 Jam
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	Jam	NO ₂	HC
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)
0 – 50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51 – 100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101 – 200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201 – 300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan:

- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM2.5) disampaikan tiap jam selama 24 jam.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM10), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂) dan hidrokarbon (HC). Nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 14 Tahun 2020 tentang Standar Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), ini

adalah indikator numerik tanpa satuan yang menilai kualitas udara ambien di lokasi tertentu, dengan tujuan untuk mengukur dampak terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan nilai estetika [18]. ISPU dapat dihitung dengan mengamati konsentrasi aktual di udara ambien berdasarkan hasil pengukuran. Nilai batas konsentrasi untuk menilai parameter indeks pencemar udara terstandarisasi dalam satuan SI disajikan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Batas ISPU dalam Satuan SI

Indeks Standar PencemarUdara	SO₂ µg/m³	CO µg/m³	NO₂ µg/m³
0-50	52	4000	80
51-100	180	8000	200
101-200	400	15000	1130
201-300	800	30000	2260
>300	1200	45000	3000

Dalam menunjukan kondisi ISPU di daerah tersebut dapat digambarkan melalui kategori ISPU seperti pada (**Tabel 3**) sesuai dengan contoh format pelaporan yang terdapat di Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 14 Tahun 2020.

Tabel 3. Kategori ISPU

No.	ISPU	Kategori ISPU	Warna
1.	0-50	Baik	Hijau
2.	51-100	Sedang	Biru
3.	101-200	Tidak Sehat	Kuning
4.	201-300	Sangat Tidak Sehat	Merah
5.	>300	Berbahaya	Hitam

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) dibagi ke dalam lima kategori, meliputi kondisi baik, kondisi sedang, kondisi tidak sehat, kondisi sangat tidak sehat, dan kondisi berbahaya. Kategori kondisi baik mencerminkan tingkat kualitas udara yang sangat baik dan tidak memberikan implikasi negatif terhadap kesehatan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Kategori kondisi sedang menunjukkan tingkat kualitas udara yang masih dapat diterima oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Sementara itu, kondisi tidak sehat mencirikan tingkat kualitas udara yang dapat memberikan implikasi negatif pada kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Kondisi sangat tidak sehat mencakup tingkat kualitas udara yang dapat menimbulkan risiko kesehatan pada makhluk hidup yang terpapar. Terakhir, kondisi berbahaya menunjukkan tingkat kualitas udara yang sangat merugikan bagi makhluk hidup dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius. Dalam kondisi ini, tindakan segera diperlukan untuk mengurangi implikasi negatif bagi manusia dan makhluk hidup lainnya.

Telaah Pustaka Tindakan Pencegahan dan Pengendalian

Langkah-langkah untuk mencegah dan mengendalikan polusi udara di permukaan bumi sangat penting untuk memecahkan masalah ini. Langkah-langkah pencegahan dan pengendalian polusi udara yang diusulkan dalam karya WHO tentang polusi lingkungan pada tahun 1968 terbatas pada penahanan, penggantian, pengenceran, legislasi, dan tindakan internasional. [19].

a. Containment

Penahanan bertujuan untuk mencegah emisi gas beracun langsung ke atmosfer. Hal ini dapat dicapai dengan memasang filter atau sistem penyaringan pada unit pembuangan untuk memastikan bahwa konsentrasi gas yang keluar dari pabrik tetap berada dalam standar kualitas emisi dan tidak membahayakan kesehatan.

b. Replacement

Tujuan dari substitusi adalah untuk mengganti peralatan dan sumber energi yang sangat berpolusi dengan peralatan dan sumber energi yang tidak terlalu berpolusi. Salah satu contohnya adalah penggunaan listrik untuk menggantikan batu bara.

c. Dilution

Pengenceran bertujuan untuk mengurangi polutan. Hal ini dapat dicapai secara alami dengan mengembangkan ruang hijau. Di antara area perumahan dan industri terdapat zona hijau yang ditumbuhi tanaman peneduh.

d. Legislation

Mengesahkan undang-undang berarti menerapkan hukum untuk melindungi lingkungan, masyarakat umum, dan tenaga kerja.

e. International Action

WHO telah membentuk jaringan laboratorium

internasional untuk memantau dan menganalisis situasi polusi udara. Pusat laboratorium utama dalam jaringan internasional ini adalah London dan Washington, serta Moskow, Singapura, dan Tokyo.

Telaah Pustaka Upaya Pencegahan Pencemaran Udara

Upaya pencegahan pencemaran udara di Indonesia, berdasarkan periode waktunya terbagi menjadi 2 yaitu :

a. Jangka Pendek

Kegiatan-kegiatan jangka pendek di Indonesia untuk mencegah terjadinya pencemaran udara, antara lain:

1. Sosialisasi melalui media cetak dan elektronik berkaitan dengan bahaya pencemaran udara bagi kelangsungan kehidupan manusia dan perubahan ekosistem pada alam semesta.
2. Relokasi kawasan industri yang berada di tengah kota ke daerah pinggiran kota dan pengembangan suatu daerah hijau (*green belt*) yang mempengaruhi kawasan industri yang akan dibangun.
3. Penyelenggaraan analisis dampak lingkungan (AMDAL) secara rutin di pabrik-pabrik yang berada di tengah kota atau di dekat lokasi permukiman penduduk.
4. Penyelenggaraan uji emisi gas buangan dari kendaraan bermotor secara berkala dan pembentukan sistem pemantauan pencemaran udara di setiap sudut kota.
5. Perbaikan sarana transportasi darat terutama armada angkutan kota agar lebih manusiawi (aman, nyaman, dan murah) sehingga dapat mengurangi penggunaan kendaraan pribadi.
6. Penerapan program 3 in 1 pada kendaraan pribadi selama jam-jam sibuk, terutama di

jalan-jalan protokol di pusat kota.

7. Pengawasan dan pelanggaran pembakaran hutan terutama saat musim kemarau yang pada kenyataannya terjadi hampir setiap tahun.

b. Jangka Panjang

Upaya jangka panjang di Indonesia untuk mencegah terjadinya pencemaran udara, antara lain:

1. Perencanaan tata ruang kota yang mengacu pada wawasan kesehatan lingkungan.
2. Mengganti bahan bakar untuk industri kendaraan bermotor dengan bahan bakar yang ramah lingkungan, misalnya bahan bakar gas dan biosolar yang berasal dari minyak kelapa sawit.
3. Membangun sarana transportasi perkotaan dengan mempergunakan kereta api bawah tanah (*subway station*).
4. Melakukan penghijauan atau membuat taman di setiap sudut kota.
5. Mempersiapkan suatu undang-undang tentang kesehatan lingkungan untuk menjamin terpeliharanya kualitas lingkungan.

Telaah Pustaka Sistem Informasi Geografis

Proses pemrosesan gambar melibatkan pemrosesan dan analisis gambar dari jarak jauh menggunakan metode digital. Perangkat lunak digunakan untuk memproses citra digital. Perangkat lunak *Quantum Gis* dan *Google Earth* merupakan dua paket perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini.

Pemetaan

Pemetaan kualitas udara Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Dioksida (NO_2) untuk memantau kualitas udara di kota Parepare. Pemetaan sendiri merupakan suatu proses atau kegiatan pemotretan yang bertujuan menyajikan informasi

tentang permukaan bumi, yang dapat berupa fakta yang menggambarkan gambaran umum dari permukaan bumi dan sumber daya alamnya. Salah satu metode pemetaan yang dapat digunakan untuk mengetahui sebaran kualitas udara di kota Parepare adalah menggunakan teknologi penginderaan jauh [20].

Penginderaan jauh merujuk pada metode identifikasi objek di permukaan bumi tanpa adanya kontak langsung dengan objek tersebut. Ini merupakan sebuah disiplin ilmu yang dimanfaatkan untuk mendapatkan gambaran permukaan bumi, menggunakan satelit sebagai perangkat perekam. Hasil dari proses penginderaan jauh ini dikenal sebagai citra. Salah satu jenis citra satelit yang dapat digunakan untuk melakukan pemetaan sebaran kualitas udara di Kota Parepare adalah citra *Sentinel-5P* [21].

Citra Satelit Sentinel-5P

Sentinel-5 Precursor (*Sentinel-5P*) merupakan satelit sentinel Eropa pertama yang didedikasikan untuk mengamati komposisi atmosfer, yang merupakan hasil kerjasama antara *European Space Agency* (ESA), *European Commission* dan *Netherlands Space Office* (Eskes et al., 2019). *Sentinel-5P* diluncurkan pertama kali pada tanggal 13 Oktober 2017 sebagai bagian dari program *Copernicus* untuk memantau kualitas udara, iklim dan lapisan ozon secara global. Enam bulan pertama peluncuran *Sentinel-5P* merupakan fase observasi khusus untuk mempersiapkan satelit dan sistem pemrosesan permukaan bumi, sehingga fase operasional *Sentinel-5P* baru dimulai pada bulan April 2018. *Sentinel-5P* beroperasi pada orbit dengan ketinggian 824 km dengan siklus orbit selama 16 hari. *Sentinel-5P* direncanakan beroperasi hingga tahun 2023. *Sentinel-5P* adalah satelit yang diluncurkan untuk memonitoring polusi udara, meliputi pengamatan pada gas O₃, NO₂, SO₂, HCHO, CO, CH₄. Dataset dari satelit *Sentinel-5P*, kecuali untuk pengamatan

CH₄ memiliki dua versi, yaitu *Near Real -Time* (NRTI) dan *offline* (OFFL) [13].

Dengan memanfaatkan aplikasi penginderaan jauh, yaitu dengan menggunakan data satelit *Sentinel 5 Precursor*. *Sentinel-5P* memuat spektrometer yang disebut *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI). TROPOMI berguna untuk mengukur panjang gelombang UV-visible (270-500 nm), *near infrared* (710-770 nm) dan *shortwave infrared* (2314-2382 nm). TROPOMI memiliki resolusi spasial sebesar 7 x 3,5 km² untuk *band* 2-6 (UVN), 7 x 7 km² untuk *band* 7 dan 8 (SWIR), dan 21 x 28 km² untuk *band* 1 (*deep UV*). TROPOMI di atas *platform Copernicus Sentinel 5 precursor* (*Sentinel-5P*) akan mengukur sinar ultraviolet bumi yang bersinar pada spektral tinggi dan resolusi spasial yang ditingkatkan (ukuran piksel 7 km × 3,5 km₂) dibandingkan dengan pendahulunya OMI dan GOME-2. Dengan memanfaatkan *TROPOspheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) dapat dilakukan pemantauan konsentrasi gas SO₂ dan NO₂ pada suatu wilayah [13].

Penggunaan Citra Sentinel-5P dalam Penelitian Kesehatan Masyarakat

Penggunaan data citra *Sentinel-5P* dalam studi kesehatan masyarakat merupakan pendekatan inovatif yang dapat memberikan pemahaman mendalam tentang implikasi kesehatan akibat polusi udara. Analisis spasial dari data ini dapat memberikan gambaran yang lebih akurat tentang distribusi pencemar udara dan hubungannya dengan kesehatan masyarakat. Penggunaan citra *Sentinel-5P* dalam penelitian kesehatan masyarakat memiliki potensi besar untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kualitas udara dan implikasinya terhadap kesehatan manusia. Berikut adalah beberapa aspek penting terkait dengan penggunaan citra *Sentinel-5P* dalam konteks penelitian kesehatan masyarakat:

a. Pemetaan Kualitas Udara

Citra *Sentinel-5P* dapat digunakan untuk melakukan pemetaan kualitas udara dengan tingkat resolusi yang tinggi. Hal ini memungkinkan identifikasi dan pemantauan polutan udara, seperti SO₂ dan NO₂, yang dapat berimplikasi pada kesehatan masyarakat.

b. Analisis Paparan Pencemar Udara

Citra *Sentinel-5P* memberikan data tentang konsentrasi gas pencemar udara di suatu wilayah. Penelitian kesehatan masyarakat dapat menggunakan informasi ini untuk melakukan analisis paparan terhadap polutan udara dan mengevaluasi implikasinya pada kesehatan manusia.

c. Identifikasi Sumber Pencemar

Dengan memanfaatkan citra *Sentinel-5P*, penelitian dapat mengidentifikasi sumber-sumber utama emisi polutan udara. Ini dapat membantu dalam merancang kebijakan dan intervensi kesehatan masyarakat untuk mengurangi paparan terhadap pencemar udara yang berasal dari sumber tertentu.

d. Monitoring Perubahan Temporal

Citra *Sentinel-5P* menyediakan data temporal yang memungkinkan pemantauan perubahan dalam kualitas udara dari waktu ke waktu. Ini membantu penelitian kesehatan masyarakat untuk memahami tren jangka panjang dan musiman dalam paparan polutan udara.

e. Korelasi dengan Masalah Kesehatan Masyarakat

Data dari citra *Sentinel-5P* dapat dikorelasikan dengan masalah kesehatan masyarakat, seperti tingkat penyakit pernapasan atau kesehatan jantung, untuk menentukan hubungan antara kualitas udara dan implikasi kesehatan masyarakat.

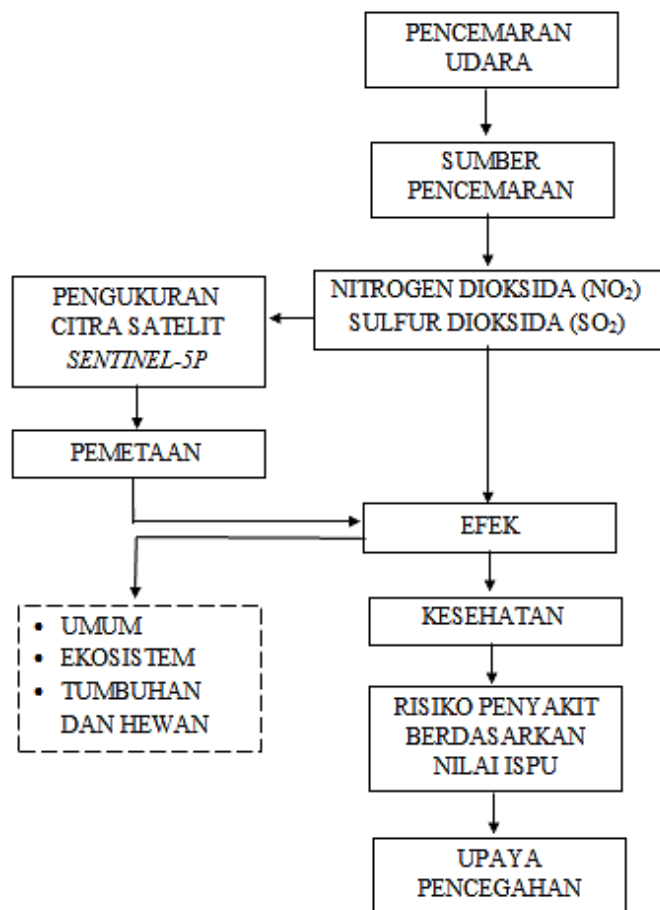
f. Peringatan Dini dan Respons Cepat

Dengan pemantauan secara rutin menggunakan citra *Sentinel-5P*, penelitian kesehatan masyarakat dapat memberikan peringatan dini terkait tingginya tingkat polutan udara. Ini memungkinkan respons cepat dari pihak berwenang dan masyarakat untuk melindungi kesehatan.

g. Edukasi Masyarakat

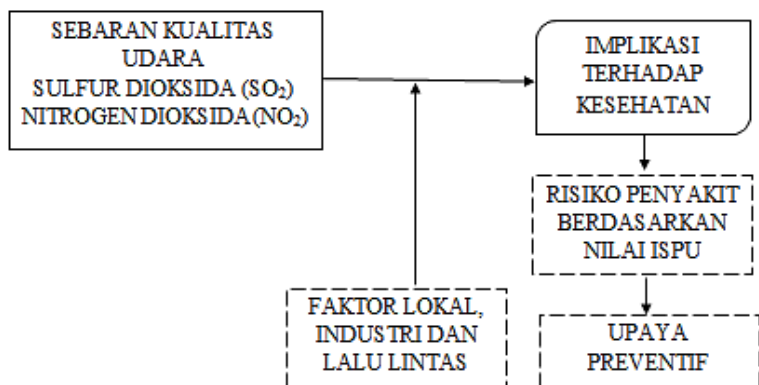
Informasi dari citra *Sentinel-5P* dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang kualitas udara dan implikasinya terhadap kesehatan. Edukasi ini dapat membantu masyarakat mengambil tindakan pencegahan untuk melindungi diri mereka sendiri

B. Kerangka Konsep



Gambar 1. Kerangka Konsep

C. Alur Penelitian



Gambar 2. Alur Penelitian

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengetahui sebaran konsentrasi SO₂ dan NO₂ di Kota Parepare tahun 2023 sehingga implikasi terhadap kesehatan masyarakat yang diakibatkan oleh konsentrasi SO₂ dan NO₂ dapat dipahami dan membuat upaya pencegahan untuk meminimalisir penyakit akibat pencemaran konsentrasi SO₂ dan NO₂.

B. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

- a. Waktu penelitian ini dilakukan selama dua bulan yaitu pada bulan Februari sampai Maret 2024.
- b. Tempat penelitian ini dilakukan di Kota Parepare.

C. Tahap Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari instansi-instansi terkait dan penyaji data yang ada di internet. Berikut beberapa jenis data yang diperlukan terdapat pada (Tabel 4).

Tabel 4. Jenis Data, Metode Pengambilan Data dan Sumber Data

No.	Jenis Data	Metode	
		Pengambilan Data	Sumber Data
1	Citra Satelit <i>Sentinel 5P</i>	Data Sekunder	Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) Kota Parepare
2	Konsentrasi NO ₂ dan SO ₂ di Kota Parepare.	Data Sekunder	<i>Google Earth Engine</i>
3	Administrasi Kota Parepare, Administrasi Kecamatan dan Administrasi Kelurahan	Data Sekunder	Indonesia Geospatial Portal (Peta Rupa Bumi Indonesia)
4	Data Waktu Pengukuran NO ₂ dan SO ₂ di Kota Parepare.	Data Sekunder	Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Parepare (DLHD)

D. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian merupakan alat bantu bagi peneliti dalam mengumpulkan data, sehingga kualitas instrumen akan menentukan kualitas data yang terkumpul. Instrumen merupakan komponen yang sangat penting dalam proses pengumpulan data. Oleh karena itu, instrumen penelitian harus sesuai dengan variabel-variabel yang diteliti. Semakin baik instrumen yang disusun maka semakin baik pula hasil penelitian. Sedangkan dalam penelitian ini, instrumen yang digunakan oleh peneliti antara lain:

- a. *Google Earth Engine*
- b. *Software Quantum Gis*

E. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik menggunakan sistem komputerisasi dengan tahapan sebagai berikut:

- a. *Editing* merupakan kegiatan pengecekan daftar isian apakah pengisian data sudah lengkap, jelas, relevan, dan konsisten dengan daftar isian yang diinginkan.
- b. *Processing* merupakan kegiatan memasukkan data ke dalam program komputer.
- c. *Cleaning* merupakan kegiatan pembersihan data atau pengecekan kembali data yang sudah dimasukkan. Hal ini dilakukan untuk menghindari kesalahan yang mungkin terjadi pada saat memasukkan data ke dalam program komputer.

F. Analisis Data

Analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif dan analisis spasial. Analisis deskriptif untuk mengetahui sebaran pencemaran udara konsentrasi SO₂ dan NO₂ di Kota Parepare yang disajikan dalam bentuk peta dengan menggunakan aplikasi *Quantum GIS*. Analisis spasial melalui fitur overlay peta, yaitu dengan menyatukan lapisan layer yang berbeda sehingga dapat menampilkan informasi atribut dari kedua peta,

analisis ini untuk mengetahui tingkat pencemaran udara di Kota Parepare. Kemudian data dikalibrasi dari satuan pengukuran citra satelit yaitu mol/m^2 ke $\mu\text{g/m}^3$ dengan menggunakan rumus sebagai berikut;

Rumus untuk Mengkonversi Satuan mol/m^2 ke $\mu\text{g/m}^3$ Nitrogen Dioksida (NO_2)

Massa molar NO_2 : 46,0055 g/mol

Volume molar gas pada kondisi standar (STP): 22,414 m^3/mol

Konversi massa ke mikrogram: 1 g = 1000000 μg

Faktor Konversi adalah rasio antara massa molar NO_2 dan volume molar gas pada kondisi standar.

$$\begin{aligned}\text{Faktor Konversi} &= \frac{\text{Massa Molar NO}_2}{\text{Volume Molar Gas pada STP}} \\ &= \frac{46,0055 \text{ g/mol}}{22,414 \text{ m}^3/\text{mol}}\end{aligned}$$

$$= 2,051 \text{ g/m}^3$$

Setiap mol/m^2 NO_2 dapat diubah menjadi microgram/m^3 dengan menggunakan faktor konversi yang telah dihitung.

Konsentrasi (microgram/m^3) = Konsentrasi (mol/m^2)
× Faktor Konversi

Konsentrasi (microgram/m^3) = Konsentrasi (mol/m^2)
× 2,051 g/m^3

Rumus untuk mengkonversi satuan mol/m^2 ke $\mu\text{g/m}^3$ Sulfur Dioksida (SO_2)

Massa molar SO_2 : 64,066 g/mol

Volume molar gas pada kondisi standar (STP): 22,414 m^3/mol

Konversi massa ke mikrogram: 1 g = 1.000.000 μg

Faktor konversi adalah rasio antara massa molar SO_2 dan volume molar gas pada kondisi standar.

$$\begin{aligned}\text{Faktor Konversi} &= \frac{\text{Massa Molar SO}_2}{\text{Volume Molar Gas pada STP}} \\ &= \frac{64,066 \text{ g/mol}}{22,414 \text{ m}^3/\text{mol}} \\ &= 2,860 \text{ g/m}^3\end{aligned}$$

Setiap mol/m^2 SO_2 dapat diubah menjadi microgram/m^3 dengan menggunakan faktor konversi yang telah dihitung.

$$\text{Konsentrasi (microgram/m}^3\text{)} = \text{Konsentrasi (mol/m}^2\text{)} \times \text{Faktor Konversi}$$

$$\text{Konsentrasi (microgram/m}^3\text{)} = \text{Konsentrasi (mol/m}^2\text{)} \times 2,860 \text{ g/m}^3$$

G. Penyajian Data

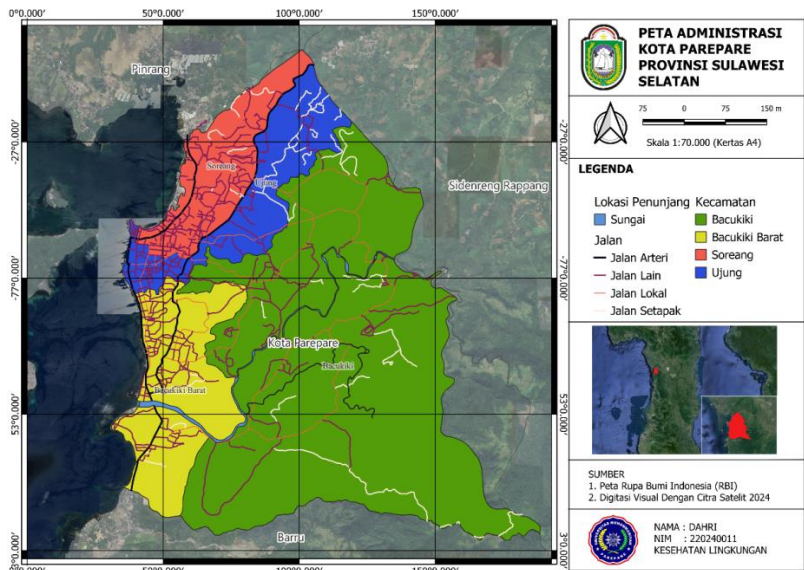
Penyajian data dalam penelitian ini yaitu dalam bentuk peta, tabel, grafik, dan narasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Lokasi Penelitian

Kota Parepare terletak di Sulawesi Selatan, antara 1190 36' 24' - 1190 43' 40' BT dan 030 57' 39' - 030 04' 49' LS. Kota Parepare memiliki batas-batas administratif sebagai berikut:

1. Di sebelah utara berbatasan dengan kabupaten Pinrang.
2. Di sebelah selatan berbatasan dengan kabupaten Barru.
3. Di sebelah timur berbatasan dengan kabupaten Sidenreng Rappang.
4. Di sebelah barat berbatasan dengan Selat Makassar.



Gambar 3. Peta Administrasi Kota Parepare

Dengan luas wilayah 99,33 km², kota Parepare terbagi menjadi 4 (empat) kecamatan dan 22 (dua puluh dua) kelurahan. Kecamatan terluas adalah Kecamatan Bacukiki dengan luas sekitar 66,70 km² atau 67,15% dari luas wilayah Kota Parepare. Tabel 5 di bawah ini menunjukkan luas wilayah kota Parepare untuk setiap kecamatan.

Tabel 5. Daftar Nama Kecamatan dan Kelurahan di Kota Parepare.

Kecamatan	Kelurahan	Luas (km²)	Presentase
Soreang	Kampung Pisang	0,12	0,12
	Ujung Baru	0,15	0,15
	Ujung Lare	0,48	0,48
	Bukit Indah	0,18	0,18
	Bukit Harapan	1,19	1,20
	Watang Soreang	5,56	5,60
		0,65	0,65
Ujung	Labukkang	0,36	0.36
	Mallusetasi	0,22	0.22
	Ujung Sabbang	0,36	0.36
	Ujung Bulu	0,38	0.38
	Lapadde	9,98	10.05
Bacukiki	Watang Bacukiki	25,52	25.69
	Lemoe Lompoe	29,75	29.95

	Galung Maloang	5,27	5.31
		6,16	6.20
	Lumpue	4,99	5.02
	Bumi Harapan	6,16	6.20
Bacukiki	Sumpang	0,31	0.31
	Minangae	0,70	0.70
Barat	Cappagalung	0,38	0.38
	Tiro Sompe	0,46	0.46
	Kampung Baru		
Jumlah		99,33	100,00

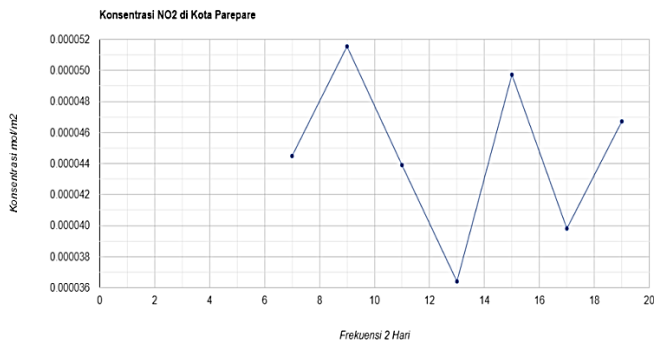
Menurut data yang diperoleh (BPS Kota Parepare), kota Parepare berada pada ketinggian 0 hingga 500 meter di atas permukaan laut (MDPL), dengan kemiringan 2 hingga 40%. Secara geografis, Parepare terletak di daerah pantai di bagian barat dan di daerah perbukitan yang cukup luas di bagian timur. Di bagian timur, perkembangan kota dibatasi oleh kendala fisik. Kemiringan lereng berkisar antara 2% hingga 40% untuk kota Parepare dan 0% hingga 2% untuk sebagian kecil kota.

Air permukaan kota ini dipasok oleh sungai-sungai yang mengalir melaluinya, terutama Sungai Karajae, yang mengalir dari timur ke barat dan bermuara di pesisir pantai Kota Parepare, Sulawesi Selatan, di Selat Makassar. Air tanah di Kota Parepare berasal dari sumur-sumur yang digali dengan kedalaman yang berbeda-beda. Kedalaman rata-rata sumber air bawah tanah di Kota Parepare adalah antara 3 hingga 15 meter [22].

B. Parameter Nitrogen Dioksida (NO₂)

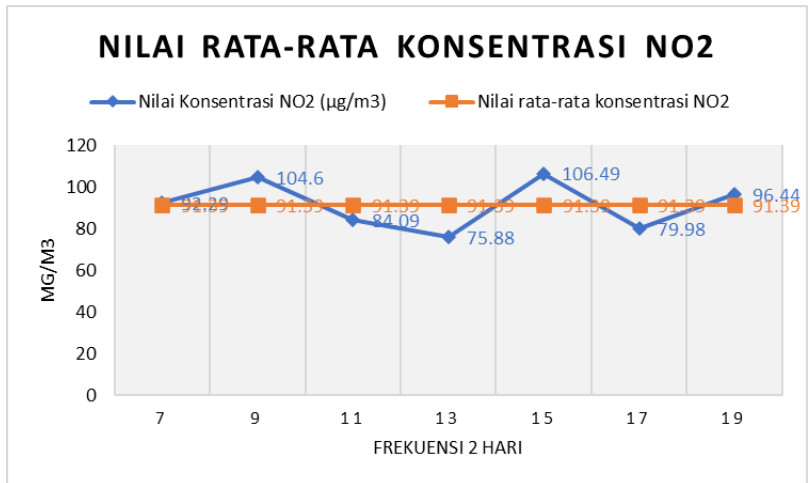
Akibat aktifitas manusia, kualitas udara seringkali menurun dan berubah. Perubahan kualitas ini dapat berupa perubahan sifat-sifat fisis maupun sifat-sifat kimiawi. Perubahan kimiawi, dapat berupa pengurangan maupun penambahan salah satu komponen kimia yang terkandung dalam udara, yang lazim dikenal sebagai pencemaran udara salah satunya adalah gas nitrogen dioksida (NO₂). Gas nitrogen teroksidasi menjadi gas NO₂, selanjutnya jika oksidasi berlanjut, maka akan menghasilkan gas NO₂. Gas ini ketika bereaksi dengan air di atmosfer, maka akan membentuk asam nitrat yang berperan dalam terjadinya hujan asam [23].

Hasil pemantauan konsentrasi NO₂ pada (Gambar 4) pada grafik tersebut menunjukkan hasil pemantaun citra satelit Sentinel-5p dengan satuan mol/m².



Gambar 4. Eksport data NO₂ dari *Google Earth Engine* dalam satuan mol/m²

Hasil bacaan *Google Earth Engine* sentinel 5p berupa konsentrasi NO₂ dengan satuan mol/m³ dikonversi dalam satuan µg/m³ setelah itu di rata-ratakan maka didapatkan hasil seperti pada (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik nilai konsentrasi NO² dalam satuan µg/m³

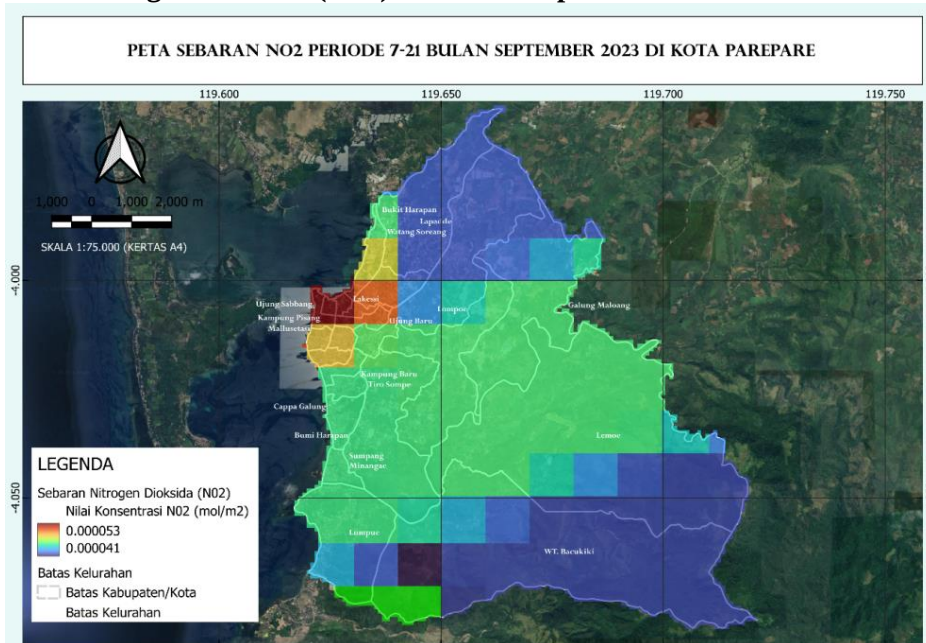
Pada pengukuran yang dilakukan oleh rekaman data citra sentinel 5p selama 2 minggu yaitu dimulai pada tanggal 07 september 2023 Hasil rata-rata konsentrasi NO₂ yaitu 91,39 µg/m³ atau sekitar 0,000044 mol/m², terjadi kenaikan tertinggi pada tanggal 15 September 2023 dengan nilai 106,49 µg/m³ atau sekitar 0,000051 mol/m², hari pertama pemantauan yakni tanggal 7 september 2023 nilai konsentrasi yang didapatkan yaitu 92,29 µg/m³ atau sekitar 0.000045 mol/m² sedangkan pada tanggal 9,11,17 dan 19 September 2023 terjadi fluktuatif rekaman data dan penurunan nilai terendah selama periode pengukuran pada tanggal 15 september 2023 dengan nilai konsentrasi 75,88 µg/m³ atau sekitar 0,000037 mol/m².

Grafik menunjukkan fluktuasi dalam konsentrasi NO₂ di udara dalam interval 2 hari. Meskipun ada beberapa variasi dalam nilai konsentrasi NO₂, nilai rata-rata konsentrasi NO₂ tetap relatif konstan sepanjang periode pengukuran.

Nilai konsentrasi tertinggi yang tercatat adalah 106.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada hari ke-15, sementara nilai terendah adalah 75.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada hari ke-13.

Secara keseluruhan, meskipun ada beberapa fluktuasi dalam konsentrasi NO_2 , nilai rata-rata tetap relatif stabil selama periode yang dianalisis. Ini menunjukkan bahwa sementara kondisi lingkungan atau sumber emisi mungkin berubah dalam jangka pendek, tingkat polusi NO_2 cenderung seimbang dalam periode waktu yang lebih panjang.

Peta Persebaran Nitrogen Dioksida (NO_2) di Kota Parepare



Gambar 6. Peta Sebaran NO_2 di Kota Parepare

Pada peta sebaran NO₂ Gambar.6 sebaran NO₂ mencakup kelurahan yang memiliki warna paling dominan mewakili hasil sebaran kelurahan daerah tersebut. Tabel 6.

Tabel 6. Sebaran NO₂ di Kota Parepare

Warna Sebaran	Konsentrasi (mol/m ²)	Konsentrasi (µg/m ³)	Kategori (ISPU)	Wilayah
Biru	0,000041 - 0,000044	84,09 - 90,24	Sedang	Kelurahan Lemoe, Kelurahan Watang Bacukiki, Kelurahan Lapadde, Kelurahan Bukit Harapan
Hijau Muda	0,000045 - 0,000047	92,29 - 96,39	Sedang	Kelurahan Lompoe, Kelurahan Bumi Harapan, Kelurahan Cappa Galung, Kelurahan Tiro Sompe, Kelurahan Galung Maloang,

Kuning	0,000048 - 0,000050	98,49 - 102,55	Sedang	Kelurahan Mallusetasi, Kelurahan Labukkang, Kelurahan Ujung Bulu, Kelurahan Watang Soreang
Orange	0,000051 - 0,000053	104,60 - 106,65	Sedang	Kelurahan Bukit Indah, Kelurahan Lapadde
Merah	0,000054 - 0,000055	109,13 - 112,85	Sedang	Kelurahan Kampung Pisang, Kelurahan Ujung Sabbang, Kelurahan Lakessi

Implikasi Nilai Konsentrasi NO₂ pada Kesehatan Masyarakat

Nitrogen dioksida (NO₂) termasuk polutan yang diemisikan dari berbagai sumber di suatu kawasan terutama sektor transportasi. Sebagai gambaran umum, sektor transportasi menyumbang pencemar NO₂ sebesar 69% di perkotaan, diikuti industri dan rumah tangga. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh gas pencemar udara seperti NO₂ dapat diperkirakan besar risikonya [24]. Pada pemantauan

NO₂ konsentrasi nilai rata-rata yang didapatkan adalah 91,39 µg/m³ yang berarti masuk dalam kategori pencemaran sedang, berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Dalam kategori sedang pada indeks pencemaran udara, tingkat NO₂ (dioksida nitrogen) Kategori kondisi sedang menunjukkan tingkat kualitas udara yang masih dapat diterima oleh manusia dan makhluk hidup lainnya tetapi mungkin tidak berada pada level yang langsung berbahaya bagi sebagian besar orang, tetapi masih memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia jika terpapar terus menerus.

Tabel 7. Dampak paparan NO₂ pada kategori sedang

No.	Dampak Paparan NO ₂		Deskripsi
1	Iritasi Saluran Pernapasan		Walaupun tidak seburuk pada kategori tinggi, NO ₂ masih dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, seperti batuk ringan, sedikit sesak napas, dan iritasi tenggorokan.
2	Peningkatan Risiko Penyakit Pernapasan		Paparan NO ₂ dalam jangka panjang pada tingkat sedang dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan seperti asma, bronkitis, dan pneumonia, terutama pada individu yang memiliki kondisi pernapasan yang sudah ada.

3	Pengaruh pada Fungsi Paru-paru	Konsentrasi NO ₂ yang sedang dapat mengganggu fungsi paru-paru dan mengurangi kapasitas paru-paru, terutama pada anak-anak, orang dewasa, dan lansia yang sudah memiliki penyakit paru-paru kronis.
4	Peningkatan Risiko Penyakit Jantung dan Pembuluh Darah	NO ₂ juga dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, seperti serangan jantung dan stroke, meskipun pada tingkat sedang ini risikonya mungkin tidak terlalu signifikan
5	Peningkatan Risiko Kematian	Paparan NO ₂ pada kategori sedang juga telah terkait dengan peningkatan risiko kematian akibat penyakit kardiovaskular dan pernapasan, terutama pada individu yang sudah rentan.

Upaya Pencegahan untuk Meminimalisir Penyakit Akibat Kualitas NO₂

Pada pemantauan kualitas udara NO₂ dikota parepare didapatkan rata-rata nilai konsentrasi NO₂ yaitu 91,39 µg/m³ yang termasuk dalam kategori ISPU sebagai pencemaran

sedang dan dapat berimplikasi pada kesehatan masyarakat, Adapun upaya pencegahan yang dapat dilakukan untuk meminimalisir penyakit yang bisa ditimbulkan dari kualitas NO₂ tersebut adalah sebagai berikut;

1. Peran Masyarakat

Langkah yang dapat dilakukan masyarakat untuk berkontribusi dalam meminimalisir pencemaran udara NO₂ dan melindungi kesehatan mereka serta lingkungan secara keseluruhan seperti di jelaskan pada (Tabel 7) [25].

Tabel 8. Upaya pencegahan masyarakat untuk meminimalisir penyakit akibat NO₂

No.	Upaya Masyarakat	Deskripsi
1	Mengurangi Penggunaan Kendaraan Bermotor	Masyarakat bisa mengurangi penggunaan kendaraan bermotor pribadi dengan beralih ke transportasi publik, bersepeda, atau berjalan kaki. Ini akan mengurangi emisi NO ₂ dari kendaraan bermotor
2	Menggunakan Pakaian Pelindung	Memakai pakaian pelindung untuk mengurangi paparan NO ₂ adalah salah satu tindakan pencegahan yang dapat diambil oleh individu untuk melindungi

		diri mereka dari dampak buruk pencemaran udara tersebut. Meskipun penggunaan pakaian pelindung tidak secara langsung mengurangi konsentrasi NO_2 di udara, namun dapat membantu mengurangi risiko paparan langsung ke tubuh, terutama pada saat kondisi udara sangat buruk. Pakaian pelindung yang dimaksud dapat berupa masker wajah.
3	Mengurangi Penggunaan Alat Pembakaran	Masyarakat juga bisa mengurangi penggunaan alat pembakaran seperti tungku kayu, kompor gas, atau alat pembakaran lainnya yang menggunakan bahan bakar fosil. Pemilihan alat memasak yang lebih efisien atau menggunakan energi terbarukan juga bisa membantu mengurangi emisi NO_2

4	Mendorong Penggunaan Energi Bersih	Masyarakat dapat mendukung penggunaan energi bersih seperti listrik dari sumber terbarukan. Hal ini dapat membantu mengurangi emisi dari pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil.
5	Pemantauan Kualitas Udara	Masyarakat dapat memantau kualitas udara di sekitar mereka menggunakan alat pemantau udara atau mengakses informasi dari lembaga yang bertanggung jawab atas kualitas udara. Ini akan membantu mereka mengambil tindakan preventif jika kualitas udara buruk.
6	Menjaga Kesehatan Pernapasan	Masyarakat yang rentan terhadap dampak NO ₂ , seperti anak-anak, orang tua, dan individu dengan penyakit pernapasan, harus memperhatikan kesehatan pernapasan mereka. Mereka sebaiknya menghindari aktivitas

		luar ruangan yang berat dan memastikan mereka memiliki akses ke perawatan medis jika diperlukan
7	Partisipasi dalam Program Lingkungan	Terlibat dalam program lingkungan dan kegiatan sukarela yang bertujuan untuk mengurangi emisi dan meningkatkan kualitas udara.

2. Peran Pemerintah

Pemerintah memiliki peran yang sangat penting dalam meminimalisir pencemaran udara, termasuk pencemaran udara NO_2 . Langkah-langkah ini, pemerintah dapat berperan aktif dalam meminimalisir pencemaran udara NO_2 dan meningkatkan kualitas udara untuk kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan [26]. berikut beberapa upaya pencegahan yang bisa dilakukan oleh pemerintah untuk mengatasi pencemaran udara NO_2 pada kategori sedang (dengan konsentrasi sebesar $91,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) di jelaskan pada pada (Tabel 8)

Tabel 9. Upaya pencegahan pemerintah untuk meminimalisir penyakit akibat NO₂

No.	Peran pemerintah	Deskripsi
1	Regulasi dan Kebijakan Lingkungan	Pemerintah dapat menerapkan regulasi yang lebih ketat terhadap industri dan kendaraan bermotor untuk mengurangi emisi NO ₂ . Ini termasuk standar emisi yang lebih ketat, insentif untuk penggunaan kendaraan ramah lingkungan, dan pembatasan operasional pada industri dengan emisi NO ₂ yang tinggi
2	Promosi Transportasi Berkelanjutan	Pemerintah bisa mendorong masyarakat untuk menggunakan transportasi berkelanjutan seperti berjalan kaki, bersepeda, atau menggunakan kendaraan listrik. Ini dapat dilakukan melalui program insentif, pembangunan infrastruktur yang mendukung, dan kampanye sosialisasi.

3	Pembangunan Infrastruktur Ramah Lingkungan	Pemerintah dapat menginvestasikan dana dalam pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan, seperti jalur sepeda, trotoar, dan taman kota. Infrastruktur ini dapat mendorong masyarakat untuk beralih ke mode transportasi yang lebih ramah lingkungan dan mengurangi penggunaan kendaraan pribadi.
4	Pemantauan dan Peringatan Pencemaran Udara	Pemerintah harus memiliki sistem pemantauan pencemaran udara yang efektif dan mengeluarkan peringatan secara berkala kepada masyarakat jika kualitas udara buruk. Informasi ini dapat membantu masyarakat mengambil tindakan pencegahan untuk melindungi kesehatan mereka saat kualitas udara buruk.
5	Edukasi dan Kesadaran Masyarakat	Pemerintah juga harus melakukan kampanye edukasi dan kesadaran masyarakat tentang dampak

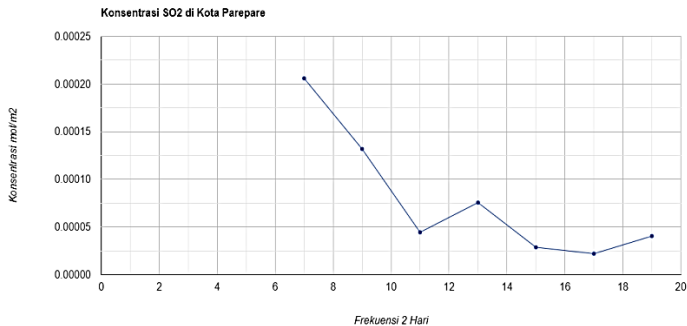
pencemaran udara pada kesehatan dan lingkungan. Ini dapat membantu meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya mengurangi emisi NO_2 dan mengambil langkah-langkah untuk melindungi kesehatan mereka sendiri dan lingkungan.

Upaya pencegahan yang efektif untuk meminimalisir pencemaran udara nitrogen dioksida (NO_2) pada kategori sedang (dengan konsentrasi sebesar $91,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) membutuhkan kerja sama antara pemerintah dan masyarakat. Kerja sama antara pemerintah dan masyarakat dalam mengambil langkah-langkah pencegahan ini akan membantu meminimalisir pencemaran udara NO_2 dan meningkatkan kualitas udara untuk kesejahteraan bersama.

C. Parameter Sulfur Dioksida (SO_2)

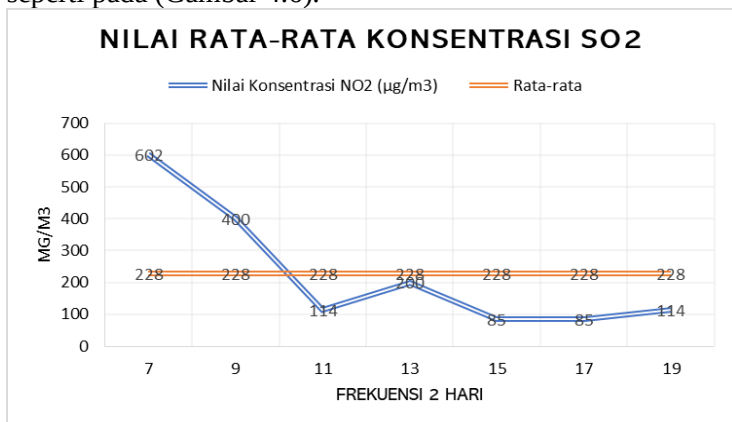
Salah satu jenis pencemaran udara yang paling banyak timbul adalah Sulfur Dioksida. Sulfur dioksida adalah gas jernih yang tidak berwarna juga merupakan bagian dari pencemar udara. Jumlah SO_2 berasal dari oksidasi H_2S adalah 80%. Sisa 20% lagi merupakan hasil ulah manusia yakni akibat bahan bakar yang mengandung belerang dan pelelehan logam non-ferro, kilang minyak, dan letusan gunung. Jenis polutan SO_2 adalah polutan yang bersifat iritan terhadap saluran pernapasan manusia. Pada paparan jangka pendek dalam konsentrasi rendah pun dapat menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan terutama saluran pernapasan manusia.

Hasil pemantauan konsentrasi SO_2 pada (Gambar 4.5) pada grafik tersebut menunjukkan hasil pemantaun citra satelit Sentinel 5p dengan satuan mol/m^2 .



Gambar 7. Grafik konsentrasi SO_2 dalam satuan mol/m^2

Kemudian setelah nilai konsentrasi NO_2 dengan satuan mol/m^3 dikonversi dalam satuan $\mu\text{g/m}^3$ maka didapatkan hasil seperti pada (Gambar 4.6).



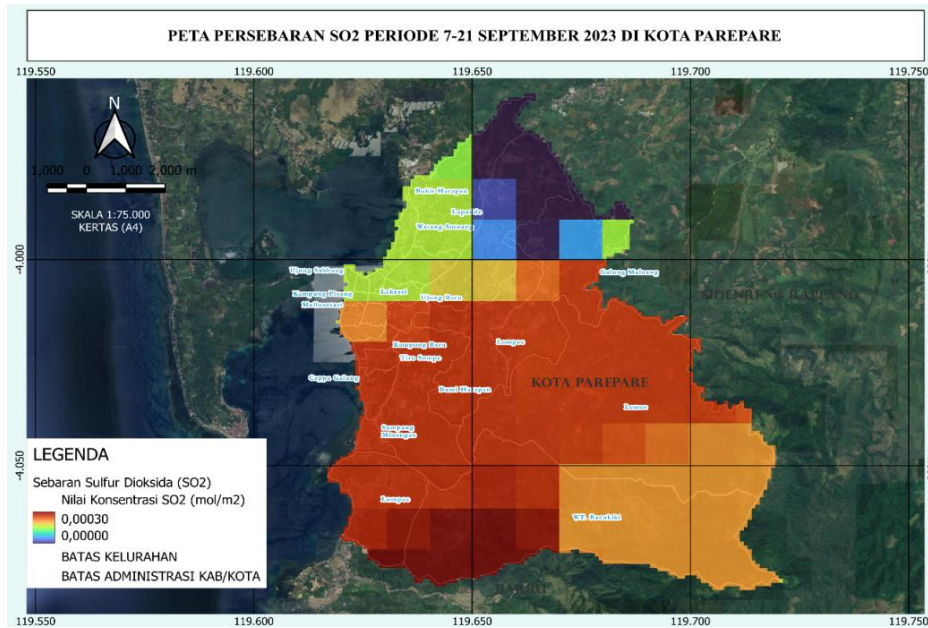
Gambar 8. Nilai rata-rata konsentrasi SO_2 dalam satuan $\mu\text{g/m}^3$

Pada pengukuran yang dilakukan selama 2 minggu Hasil rata-rata konsentrasi SO_2 pada (Gambar 8) yaitu $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau setara $0,00008 \text{ mol}/\text{m}^2$, pada awal pengukuran nilai konsentrasi paling tinggi yaitu $602 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau setara dengan $0,00020 \text{ mol}/\text{m}^2$, pada tanggal 9 dan 11 terjadi penurunan yaitu $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau $0,00014 \text{ mol}/\text{m}^2$ dan $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau $0,00004 \text{ mol}/\text{m}^2$. terjadi kenaikan pada tanggal 13 dengan nilai $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau setara $0,00007 \text{ mol}/\text{m}^2$, kemudian pada tanggal 15 dan 17 nilai konsentrasi SO_2 mengalami penurunan sekaligus menjadi nilai konsentrasi SO_2 paling rendah pada rentan pengukuran 2 minggu dengan nilai $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau $0,00003 \text{ mol}/\text{m}^2$. Kemudian pengukuran hari terakhir nilai konsentrasi SO_2 yaitu $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau $0,00004 \text{ mol}/\text{m}^2$. Grafik menunjukkan fluktuasi yang cukup besar dalam konsentrasi SO_2 di udara dalam interval 2 hari.

Meskipun ada variasi besar dalam nilai konsentrasi SO_2 , nilai rata-rata tetap konstan pada nilai $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yang menunjukkan adanya nilai-nilai ekstrem yang mempengaruhi hasil pengukuran.

Secara keseluruhan, meskipun konsentrasi SO_2 mengalami fluktuasi yang signifikan, nilai rata-rata konsentrasinya tetap stabil selama periode pengukuran. Fluktuasi ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor lingkungan atau sumber emisi yang berubah dalam jangka waktu pendek.

Peta Persebaran Sulfur Dioksida (SO₂) di Kota Parepare



Gambar 9. Gambar Peta Sebaran SO₂ di Kota Parepare

Pada peta sebaran SO₂ Gambar.9 sebaran SO₂ mencakup kelurahan yang memiliki warna paling dominan mewakili hasil sebaran kelurahan daerah tersebut. Tabel 10.

Tabel 10. Sebaran SO₂ di Kota Parepare

Warna Sebaran	Konsentrasi (mol/m²)	Konsentrasi (µg/m³)	Kategori (ISPU)	Wilayah
Biru Tua/Biru	0,00000 - 0,00004	0 - 114	Sedang	Kelurahan Lapadde, Kelurahan Bukit Harapan
Hijau Muda	0,00005 - 0,00008	143 - 228	Tidak Sehat	Kelurahan Bukit Harapan, Kelurahan Watang Soreang, Kelurahan Lakessi, Kelurahan Ujung Lare, Kelurahan Kampung Pisang
Kuning-Coklat	0,00009 - 0,00011	257 - 314	Tidak Sehat	Kelurahan Mallusetasi, Kelurahan Ujung Bulu, Kelurahan Labukkang
Cream	0,00012 - 0,00015	343 - 429	Tidak Sehat	Kelurahan Watang Bacukiki
Orange	0,00016 - 0,00018	457 - 514	Sangat Tidak Sehat	Kelurahan Lemoe, Kelurahan Galung Maloang, Kelurahan Lompoe,

				Kelurahan Bumi Harapan, Kelurahan Lumpue, Kelurahan Sumpang Minangae, Kelurahan Cappa Galung, Kelurahan Tiro Sompe, Kelurahan Kampung Baru
Merah/M aroon	0,00019 - 0,00022	543 - 572	Sangat Tidak Sehat	Kelurahan Lumpue,

Implikasi Nilai Konsentrasi SO₂ pada Kesehatan Masyarakat

Pada konsentrasi tertentu SO₂ dapat berpengaruh signifikan terhadap kesehatan manusia terutama pada individu yang rentan. Dampak yang dapat berpengaruh yaitu terjadinya iritasi pada saluran pernapasan jangka pendek yang mengakibatkan gejala batuk, sakit tenggorokan, dan rasa sesak napas, iritasi mata, sinus, dan edema paru. Selain itu, dapat meningkatkan risiko infeksi pernapasan jangka panjang jika sistem pernapasan teriritasi oleh paparan kronis terhadap SO₂, yaitu lebih rentan terhadap infeksi pernapasan seperti bronkitis dan pneumonia [27]. Pada pemantauan SO₂ konsentrasi nilai

rata-rata yang didapatkan adalah $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang berarti masuk dalam kategori pencemaran tidak sehat berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Dalam kategori tidak sehat pada indeks pencemaran udara, Dalam kategori tersebut, konsentrasi SO_2 dianggap cukup tinggi untuk menyebabkan dampak negatif pada kesehatan manusia, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak, orang tua, dan individu dengan gangguan pernapasan. Dampak yang dapat timbul terhadap kesehatan akibat konsentrasi SO_2 yang tidak sehat tersebut dapat meliputi dapat dilihat pada (Tabel 9) [27].

Tabel 11. Dampak paparan SO_2 pada kategori tidak sehat

No.	Dampak paparan SO_2	Deskripsi
1	Iritasi pada Saluran Pernapasan	SO_2 dapat membuat saluran pernapasan menjadi meradang dan teriritasi, menyebabkan gejala seperti batuk, pilek, sakit tenggorokan, dan kesulitan bernapas.
2	Meningkatkan Risiko Penyakit Pernapasan	Paparan SO_2 dapat memperburuk gejala penyakit pernapasan yang sudah ada, seperti asma atau

		bronkitis. Ini bisa membuat seseorang merasa lebih sulit bernapas atau memiliki serangan penyakit yang lebih serius.
3	Pengaruh pada sistem kardiovaskuler	SO ₂ dapat meningkatkan tekanan darah, frekuensi denyut jantung, dan risiko terjadinya serangan jantung.
4	Meningkatkan Risiko Penyakit Jantung	Paparan SO ₂ juga dapat meningkatkan risiko penyakit jantung, seperti serangan jantung. Hal ini dapat terjadi karena SO ₂ dapat memengaruhi sistem kardiovaskular, yang merupakan sistem yang terkait dengan jantung dan pembuluh darah.
5	Pengaruh pada sistem saraf	SO ₂ dapat menyebabkan iritasi pada saraf, meningkatkan risiko terjadinya gangguan saraf, seperti kelelahan, sakit kepala, dan gangguan tidur.
6	Pengaruh pada sistem kulit	SO ₂ dapat menyebabkan iritasi pada kulit, meningkatkan risiko

		terjadinya dermatitis, dan gangguan kulit lainnya.
7	Berpotensi Merugikan bagi Kelompok Rentan	Anak-anak, orang tua, dan individu dengan kondisi kesehatan yang sudah ada (seperti penyakit jantung atau paru-paru) lebih rentan terhadap dampak negatif dari paparan SO ₂ . Mereka berpotensi mengalami gejala yang lebih parah atau komplikasi kesehatan lainnya.
8	Menurunkan Kualitas Hidup	Paparan jangka panjang terhadap tingkat SO ₂ yang tinggi dapat mengurangi kualitas hidup secara keseluruhan, dengan membuat seseorang lebih rentan terhadap berbagai masalah kesehatan dan menurunkan kemampuan untuk menikmati aktivitas sehari-hari.

Upaya Pencegahan Untuk Meminimalisir Penyakit Akibat Kualitas SO₂

Pada pemantauan kualitas udara SO₂ dikota parepare didapatkan rata-rata nilai konsentrasi SO₂ yaitu 228 µg/m³

yang termasuk dalam kategori ISPU sebagai pencemaran tidak sehat dan dapat berimplikasi pada kesehatan masyarakat, Adapun upaya pencegahan yang dapat dilakukan untuk meminimalisir penyakit yang bisa ditimbulkan dari kualitas SO₂ tersebut adalah sebagai berikut;

1. Peran Masyarakat

Beberapa upaya yang dapat dilakukan masyarakat untuk meminimalisir penyakit akibat SO₂ dapat dilihat pada (**Tabel 12**)

Tabel 12. Upaya pencegahan masyarakat untuk meminimalisir penyakit akibat SO₂

No.	Peran masyarakat	Deskripsi
1	Kesadaran Masyarakat	Masyarakat harus memiliki kesadaran tentang bahaya yang ditimbulkan oleh kualitas SO ₂ yang tidak seimbang. Mereka harus memahami bagaimana SO ₂ dapat mempengaruhi kesehatan dan lingkungan, serta bagaimana cara mengurangi dampaknya.
2	Penggunaan Masker	Masyarakat dapat menggunakan masker yang sesuai ketika berada di

		area yang memiliki tingkat SO ₂ yang tinggi. Masker dapat membantu mengurangi inhalasi SO ₂ yang berbahaya.
3	Penggunaan Teknologi	Masyarakat dapat menggunakan teknologi yang dapat mendeteksi kualitas udara, seperti aplikasi pada smartphone, untuk memantau tingkat SO ₂ di area mereka.
4	Perubahan Pola Hidup	Masyarakat dapat mengubah pola hidup mereka untuk mengurangi kontribusi terhadap tingkat SO ₂ . Misalnya, mereka dapat menggunakan transportasi yang lebih ramah lingkungan, seperti sepeda atau berjalan kaki, dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

2. Peran Pemerintah

Beberapa upaya yang dapat dilakukan pemerintah untuk meminimalisir penyakit akibat SO₂ dapat dilihat pada (**Tabel 13**).

Tabel 13. Upaya pencegahan pemerintah untuk meminimalisir penyakit akibat SO₂

No.	Peran pemerintah	Deskripsi
1	Pengawasan Kualitas Udara	Pemerintah harus memantau dan mengawasi kualitas udara secara terus-menerus untuk memastikan bahwa tingkat SO ₂ tidak melebihi batas yang diperbolehkan.
2	Pengembangan Teknologi	Pemerintah dapat mengembangkan teknologi yang lebih efektif untuk mengurangi emisi SO ₂ , seperti sistem pengolahan udara yang lebih efisien.
3	Pendidikan dan Kampanye	Pemerintah harus melakukan pendidikan dan kampanye untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang bahaya SO ₂ dan cara mengurangi dampaknya
4	Kebijakan dan	Pemerintah dapat membuat

	Regulasi	kebijakan dan regulasi yang lebih ketat untuk mengurangi emisi SO ₂ , seperti meningkatkan biaya untuk industri yang tidak memenuhi standar emisi.
5	Koordinasi dengan Lembaga	Pemerintah harus bekerja sama dengan lembaga lain, seperti organisasi lingkungan dan kesehatan, untuk meningkatkan efektivitas upaya pencegahan dan penanganan SO ₂ .

Dengan melakukan upaya pencegahan yang efektif, baik oleh masyarakat dan pemerintah, kita dapat meminimalisir risiko penyakit yang ditimbulkan oleh kualitas SO₂ yang tidak seimbang dan meningkatkan kualitas udara serta kesehatan masyarakat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Efek SO_2 dan NO_2 pada Kesehatan, Paparan NO_2 dengan rata-rata $91,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau sekitar $0,000044 \text{ mol}/\text{m}^2$ termasuk dalam kategori sedang dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, meningkatkan risiko penyakit pernapasan dan kardiovaskular, serta berpotensi meningkatkan risiko kematian. Paparan SO_2 dengan rata-rata $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau setara $0,00008 \text{ mol}/\text{m}^2$ termasuk dalam kategori tidak sehat dan juga berbahaya, menyebabkan iritasi saluran pernapasan, meningkatkan risiko penyakit pernapasan dan jantung.
2. Sebaran Kualitas Udara Ambien, Peta sebaran menunjukkan konsentrasi NO_2 dan SO_2 bervariasi di berbagai wilayah Kota Parepare, dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di beberapa kelurahan seperti Kampung Pisang, Ujung Sabbang, Lakessi (untuk NO_2 dengan nilai konsentrasi $0,000054 \text{ mol}/\text{m}^2$ – $0,000055 \text{ mol}/\text{m}^2$ atau setara $109,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – $112,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan Lumpue, Watang Bacukiki (untuk SO_2 dengan nilai konsentrasi antara $0,00019 \text{ mol}/\text{m}^2$ – $0,00022 \text{ mol}/\text{m}^2$ atau setara dengan $543 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – $572 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
3. Upaya pencegahan yang efektif untuk meminimalisir pencemaran udara NO_2 pada kategori sedang (dengan konsentrasi rata-rata sebesar $91,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau sekitar $0,000044 \text{ mol}/\text{m}^2$) dan pencemaran udara SO_2 pada kategori tidak sehat (dengan konsentrasi rata-rata sebesar $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau setara $0,00008 \text{ mol}/\text{m}^2$) membutuhkan kerja sama antara pemerintah dan masyarakat. Upaya

Minimalisir Dampak Kesehatan, Masyarakat dapat mengurangi pemakaian kendaraan bermotor, menggunakan masker, pola hidup yang baik, menggunakan energi bersih serta menjaga kesehatan pernapasan. Pemerintah dapat membuat regulasi dan kebijakan lingkungan, promosi transportasi berkelanjutan, dan melakukan pemantauan serta regulasi kualitas udara yang ketat.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka disarankan:

1. Masyarakat di wilayah sebaran yang menunjukkan konsentrasi NO_2 dan SO_2 yang di temukan di beberapa kelurahan seperti Kampung Pisang, Ujung Sabbang, Lakessi (untuk NO_2) dan Lumpue, Watang Bacukiki (untuk SO_2) agar lebih memperhatikan implikasi dan upaya pencegahan untuk menghindari penyakit akibat polusi NO_2 dan SO_2 .
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan masukan kepada Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kota Parepare dan Badan Riset Inovasi Nasional untuk melakukan kerja sama sebagai salah satu upaya pemerintah menggunakan teknologi serta pemantauan kualitas udara secara *real time* agar mendapatkan data dengan cepat dan efektif untuk kemudian masyarakat dapat dengan cepat meminimalisir penyakit yang dapat di timbulkan akibat polusi udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sudaryanto, N. D. Prasetyawati, E. Sinaga, and Muslikah, “Socialization of the Impact of Air Pollution on Health Disorders Comfort and the Environment Kesehatan Kenyamanan Dan Lingkungan,” *Sess. IMPACT AIR Pollut. Heal. Disord. Conf. Environ.*, p. 10, 2020, [Online]. Available: <https://prosiding.gunabangsa.ac.id/index.php/mss/article/view/1/2>
- [2] M. Yasir, “Pencemaran Udara Di Perkotaan Berdampak Bahaya Bagi Manusia, Hewan, Tumbuhan dan Bangunan,” *J. OSF.Oi*, pp. 1–10, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.31219/osf.io/nc5rg>
- [3] B. A. R. R. N. Wispriyono, “Peta Jalan Nasional Kualitas Udara Dalam Ruang Tahun 2022 - 2030,” 2021.
- [4] S. S. Sinharoy, T. Clasen, and R. Martorell, “Air pollution and stunting: a missing link?,” *Lancet Glob. Heal.*, vol. 8, no. 4, pp. e472–e475, 2020, doi: 10.1016/S2214-109X(20)30063-2.
- [5] A. P. Sabrina and Ridho Pratama, “Gambaran Kualitas

Udara serta Analisis Risiko Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) di Kabupaten Bekasi,” *J. Eng. Environtmental Energy Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 63–70, 2022, doi: 10.31599/joes.v1i2.1289.

- [6] Aryanti, “Dampak Pencemaran Udara (Polusi Udara) Terhadap Penyakit Hipertensi.” [Online]. Available: <https://p2ptm.kemkes.go.id/kegiatan-p2ptm/subdit-penyakit-jantung-dan-pembuluh-darah/dampak-pencemaran-udara-polusi-udara-terhadap-penyakit-hipertensi>
- [7] Universitas Nasional, “Benarkah Polusi Udara Picu Kematian Dini?,” 2017. [Online]. Available: <https://www.unas.ac.id/kesehatan/benarkah-polusi-udara-picu-kematian-dini/>
- [8] RSU PKU Muhammadiyah Surakarta, “Manfaat Udara Bersih Bagi Manusia.” [Online]. Available: <https://www.rspkusolo.com/a/manfaat-udara-bersih-bagi-manusia>
- [9] Hendro Dahlan Situmorang, “Kualitas Udara di Indonesia Terus Memburuk.” [Online]. Available: <https://www.beritasatu.com/news/783001/kualitas->

udara-di-indonesia-terus-memburuk

- [10] Burhan, “ISPA Masuk Daftar Penyakit Terbanyak yang Diderita Warga Sulsel,” inikata.co.id. [Online]. Available: <https://inikata.co.id/2023/02/22/ispa-masuk-daftar-penyakit-terbanyak-yang-diderita-warga-sulsel/>
- [11] Andi Abdul Rahman, Usman, and Ayu Dwi Putri Rusman, “Gambaran Kualitas Udara Ambien Dan Keluhan Gangguan Pernapasan Pada Masyarakat Kota Pare Pare,” *J. Ilm. Mns. Dan Kesehat.*, vol. 4, no. 3, pp. 351–358, 2021, doi: 10.31850/makes.v4i3.620.
- [12] V. Nopita, R. Amir, M. I. Nusu, and H. Kumaladewi Hengky, “Analisis Analisis Risiko Paparan Nitrogen Dioksida (NO₂) Pada Peternakan Ayam Petelur Di Kecamatan Bacukiki Kota Parepare,” *J. Heal. Educ. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 103–116, 2021, doi: 10.25139/htc.v4i2.4187.
- [13] E. Sihotang, F. Artaningh, T. S. Anggraini, A. D. Sakti, and Agustan, “Pemantauan konsentrasi gas SO₂ di sekitar Gunung Sinabung menggunakan citra satelit Sentinel-5 Precursor,” *J. Penginderaan Jauh Indones.*, vol. 02, no. 02, pp. 32–39, 2020.

- [14] R. Sangga, B. Polii, and A. Tarore, “Analisis Tingkat Pencemaran Udara Di Kecamatan Wanea Kota Manado Analysis Of Air Pollution Levels In Cities Manado Oleh,” no. 2, pp. 1–8, 2020.
- [15] J. Abidin and F. Artauli Hasibuan, “Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara,” *Pros. SNFUR-4*, no. September, pp. 2–4, 2019, [Online]. Available: <https://snf.fmipa.unri.ac.id/wp-content/uploads/2019/09/18.-OFMI-3002.pdf>
- [16] Y. Serlina, “Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi NO₂ di Udara Ambien (Studi Kasus Bundaran Hotel Indonesia DKI Jakarta),” *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 3, 2020, doi: 10.32672/jse.v5i3.2146.
- [17] Presiden Republik Indonesia, “Pp Ri No 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara,” *Peratur. Pemerintah no. 41 tentang Pengendali. Pencemaran Udar.*, p. 18, 1999.
- [18] M. Kusnandar, “Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020,” *Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks*

Standar Pencemar Udar., pp. 1–16, 2020.

- [19] E. K. A. JULIYANI, Y. Yusmidiarti, and J. Jubaidi, “Analisis Kualitas Gas so₂ dan no₂ dalam Udara Ambien di Wilayah Persimpangan Pagar Dewa Kota Bengkulu,” no. 2, 2016, [Online]. Available: <http://repository.poltekkesbengkulu.ac.id/2251/%0Ahttp://repository.poltekkesbengkulu.ac.id/2251/1/KTI LENGKAP.pdf>
- [20] A. O. Siregar, “Pemetaan Sebaran dan Tutupan Lamun Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 di Pulau Dua Kecamatan Enggano Provinsi Bengkulu,” *J. Laut Khatulistiwa*, vol. 5, no. 3, p. 125, 2022, doi: 10.26418/lkuntan.v5i3.54389.
- [21] R. Zulkarnain and K. D. Ramadani, “Air Quality and the Potency of COVID-19 Transmission in Java,” *Semin. Nas. Off. Stat. 2020*, no. 2, pp. 23–33, 2020, [Online]. Available: <https://prosiding.stis.ac.id/index.php/semnasoffstat/article/download/398/88/>
- [22] B. a B. Iv, “Bab iv hasil penelitian dan pembahasan,” vol. 4, pp. 46–67, 2009.

- [23] E. Reezqiana Sihayuardhi, “Pemetaan Sebaran Kualitas Udara Ambien Kawasan Perkotaan Yogyakarta Dengan Parameter So₂, Co Dan No₂Metode Inverse Distance Weighting (Idw),” *Univ. Islam Indones.*, no. 2, 2021.
- [24] R. Darmawan, D. Kesehatan, L. Fakultas, and K. Masyarakat, “Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kadar No 2 Serta Keluhan Kesehatan Petugas Pemungut Karcis Tol Environmental Health Risk Assessment of NO₂ Ambient Level and Toll Collectors Officer’S Health Complaints,” *J. Kesehat. Lingkungan No.1*, vol. 10, no. 2, pp. 116–125, 2018.
- [25] K. NAUVAL, “Analisis Pencemaran Udara Di Kota Banda Aceh Pada Tahun 2019-2022 Dengan Menggunakan Alat Passive Sampler,” *Fak. Sains Dan Teknol. Univ. Islam Negeri Ar-Raniry*, 2023.
- [26] Perdinan, R. F. Adi, A. N. Armanto, and R. Muharrami, “Adopsi dan Pilihan Aksi Terbaik untuk Pengendalian Kualitas Udara di Indonesia,” pp. 1–161, 2020.
- [27] Z. Oktaviani and M. A. S. Jawwad, “Rencana

Pengelolaan dan Pemantauan Kualitas Udara Terhadap Rencana Kegiatan Pembangunan Permukiman,” *Environ. Sci. Eng. Conf.*, vol. 4, no. 1, pp. 154–159, 2023.