

SKRIPSI

**KONSENTRASI NITROGEN DIOKSIDA (NO₂)
BERDASARKAN CITRA SATELIT DI KELURAHAN
BAROMBONG KOTA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh:

**NUR AFNI SAHID
D131 19 1006**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KONSENTRASI NITROGEN DIOKSIDA (NO₂) BERDASARKAN CITRA SATELIT DI KELURAHAN BAROMBONG KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

Nur Afni Sahid
D131191006

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng.
NIP 197204242000122001

Pembimbing Pendamping,



Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng.
NIP 199710272022044001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM.
NIP 197204242000122001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Nur Afni sahid
NIM : D131191006
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) Berdasarkan Citra Satelit Di Kelurahan Barombong Kota Makassar

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Nur Afni Sahid



ABSTRAK

NUR AFNI SAHID. *Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) Berdasarkan Citra Satelit Di Kelurahan Barombong Kota Makassar* (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng dan Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng)

Kualitas udara perkotaan di Indonesia menunjukkan penurunan dalam beberapa tahun terakhir ini. Salah satu polutan dengan konsentrasi tinggi adalah NO₂ berdasarkan data dari *IQAir*. Dengan adanya peningkatan konsentrasi pencemar maka perlu dilakukan pemantauan. Pemantauan kualitas udara dapat dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan ataupun dengan memanfaatkan teknologi citra satelit melalui penginderaan jauh. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis konsentrasi NO₂ dalam udara ambien di Kelurahan Barombong Kota Makassar dengan cara ekstraksi citra Sentinel 5P kemudian membandingkan antara konsentrasi NO₂ dari citra satelit dengan pengukuran di lapangan.

Ekstraksi citra satelit menggunakan data citra Sentinel 5P dengan memanfaatkan *Google Earth Engine* (GEE). Satuan konsentrasi NO₂ dari citra satelit adalah mol/m², maka dari itu perlu dikonversi sehingga dapat dibandingkan dengan hasil konsentrasi di lapangan dan baku mutu yang telah ditetapkan. Visualisasi hasil ekstraksi dilakukan pada *software* ArcGis. Pengambilan data NO₂ di lapangan mengacu pada SNI 7119-2.2017 menggunakan *impinger*. Pengambilan data dilakukan selama 1 hari pada tanggal 2 Oktober 2023 dengan 4 interval waktu yaitu pagi, siang, sore, dan malam.

Hasil konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) berdasarkan citra satelit pada Kelurahan Barombong pada titik 1 sebesar 2.7×10^{-5} mol/m², titik 2 sebesar 2.7×10^{-5} mol/m², dan titik 3 sebesar 2.3×10^{-5} mol/m². Sedangkan hasil pengukuran langsung di lapangan pada Kelurahan Barombong di titik 1 sebesar 16,97 µg/Nm³, titik 2 sebesar 16,70 µg/Nm³, dan titik 3 sebesar 15,70 µg/Nm³. Konsentrasi NO₂ dipengaruhi oleh faktor meteorologi, waktu pengambilan sampel, aktivitas masyarakat, volume kendaraan, faktor penghijauan di sekitar lokasi pengambilan data, dan resolusi dari raster. Berdasarkan hasil uji statistik korelasi pearson antara data konsentrasi berdasarkan citra satelit dan pengukuran lapangan menunjukkan nilai signifikansi 0,126 atau > 0,05 yang menyatakan tidak terdapat korelasi antara hasil pengukuran di lapangan dengan citra satelit dikarenakan adanya RMSE sebesar 16,35 akan tetapi tren yang ditunjukkan sama.

Kata Kunci: Nitrogen Dioksida, Penginderaan Jauh, Sentinel-5P



ABSTRACT

NUR AFNI SAHID. *Nitrogen Dioxide (NO₂) Concentration Based on Satellite Image in Barombong Village, Makassar City* (supervised by Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM and Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng)

Urban air quality in Indonesia has shown a decline in recent years. One of the pollutants with high concentrations is NO₂ based on data from IQAir. With the increase in pollutant concentrations, monitoring is necessary. Air quality monitoring can be done by direct measurement in the field or by utilizing satellite image technology through remote sensing. This study was conducted to analyze the concentration of NO₂ in ambient air in Barombong Village, Makassar City by extracting Sentinel 5P imagery and then comparing the NO₂ concentration from satellite imagery with field measurements.

Satellite image extraction uses Sentinel 5P image data by utilizing Google Earth Engine (GEE). The unit of NO₂ concentration from satellite images is mol/m², so it needs to be converted so that it can be compared with the results of field concentrations and quality standards that have been set. Visualization of the extraction results is done in ArcGis software. NO₂ data collection in the field refers to SNI 7119-2.2017 using an impinger. Data collection was carried out for 1 day on October 2, 2023 with 4 time intervals, namely morning, afternoon, evening, and night.

The results of Nitrogen Dioxide (NO₂) concentration based on satellite imagery in Barombong Village at point 1 amounted to 2.7×10^{-5} mol/m², point 2 amounted to 2.7×10^{-5} mol/m², and point 3 amounted to 2.3×10^{-5} mol/m². While the results of direct measurements in the field in Barombong Village at point 1 amounted to 16.97 µg/Nm³, point 2 amounted to 16.70 µg/Nm³, and point 3 amounted to 15.70 µg/Nm³. NO₂ concentration is influenced by meteorological factors, sampling time, community activities, vehicle volume, greening factors around the data collection location, and resolution of the raster. Based on the results of the Pearson correlation statistical test between concentration data based on satellite imagery and field measurements, the significance value is $0.126 > 0.05$, which states that there is no correlation between the results of field measurements and satellite imagery due to the RMSE of 16.35, but the trend shown is the same.

Keywords: Nitrogen Dioxide, Remote Sensing, Sentinel-5P



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pencemaran Udara	7
2.2 Nitrogen Dioksida (NO ₂)	9
2.3 <i>Impinger</i>	13
2.4 <i>Spektrofotometri UV-Vis</i>	16
2.5 Penginderaan Jauh.....	18
2.6 <i>Google Earth Engine (GEE)</i>	23
2.7 JavaScript.....	24
2.8 <i>Sentinel</i>	25
2.9 <i>Sentinel-5P</i>	26
2.10 Normalitas	30
2.11 Korelasi <i>Pearson</i>	30
METODOLOGI PENELITIAN.....	32
Rancangan Penelitian	32
Metode Penelitian	34



3.3 Lokasi Penelitian.....	34
3.4 Alat dan Bahan.....	42
3.5 Metode Persiapan Pengambilan Data	46
3.6 Metode Pengambilan Data.....	53
3.7 Metode Pengolahan Data	58
3.8 Analisis Statistik Korelasi Antara Data Konsentrasi NO ₂ dari Metode Pengukuran Lapangan dengann Metode Penginderaan Jauh	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	65
4.1 Analisis Konsentrasi NO ₂ Menggunakan Citra Satelit	65
4.2 Analisis Konsentrasi NO ₂ Menggunakan Impinger.....	71
4.3 Uji Statistik	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	89
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	96



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Impinger</i>	14
Gambar 2 Bagian <i>Impinger</i>	15
Gambar 3 Diagram alat spektrofotometer UV-Vis <i>Single Bean</i>	17
Gambar 4 Diagram alat spektrofotometer UV-Vis <i>Double Bean</i>	17
Gambar 5 Skema Pengideraan Jauh.....	20
Gambar 6 Pixel.....	21
Gambar 7 Resolusi Citra	22
Gambar 8 Satelit Sentinel-5P	27
Gambar 9 Bagan alir penelitian Nitrogen Dioksida (NO ₂)	33
Gambar 10 Konsentrasi NO ₂ Kota Makassar Periode Januari-April 2023	35
Gambar 11 Konsentrai NO ₂ Kelurahan Barombong Periode Januari-Agustus 2023	37
Gambar 12 Titik Lokasi Pengukuran	38
Gambar 13 Sketsa Lokasi Pengukuran	40
Gambar 14 Kondisi Eksisting Lokasi Pengukuran	41
Gambar 15 Perangkat Laboratorium.....	42
Gambar 16 Perangkat Pengambilan Data	44
Gambar 17 Tampilan Aplikasi Google Earth.....	45
Gambar 18 Tampilan Program <i>Google Earth Engine</i> (GEE).....	45
Gambar 19 Tampilan Aplikasi ArcGis	46
Gambar 20 Tampilan Aplikasi SPSS	46
Gambar 21 Bagan Alir Pembuatan Larutan Penjerap.....	47
Gambar 22 Bagan Alir Pembuatan Larutan Induk Nitrit	48
Gambar 23 Bagan Alir Pembuatan Larutan Standar Nitrit	49
Gambar 24 Bagan Alir Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	50
Gambar 25 Kurva Kalibrasi	52
Gambar 26 Bagan Alir Pemotongan <i>Shapefile Area of Interest</i> (AOI)	53
27 Bagan Alir Metode Pengambilan Data.....	55
28 Bagan Alir Pengambilan Data Sekunder.....	56
29 Bagan Alir Pengujian Sampel Nitrogen Dioksida (NO ₂).....	58



Gambar 30 Bagan Alir Analisis Data Konsentrasi NO ₂ Dengan Perhitungan.....	59
Gambar 31 Bagan Alir Analisis Data Konsentrasi NO ₂ Penginderaan Jauh	60
Gambar 32 Bagan Alir Layout Peta	62
Gambar 33 Bagan Alir Pengkonversian Nilai Pixel	63
Gambar 34 Bagan Alir Metode Uji Statistik Korelasi Konsentrasi NO ₂	64
Gambar 35 Persebaran Data Pixel 2 Oktober 2023	66
Gambar 36 Visualisasi Citra Sentinel 5P 2 Oktober 2023	68
Gambar 37 Volume Kendaraan.....	72
Gambar 38 Grafik rekapitulasi (a) Temperatur dan (b) Tekanan Udara Titik 1 ...	74
Gambar 39 Grafik rekapitulasi (a) Temperatur dan (b) Tekanan Udara Titik 2 ...	75
Gambar 40 Grafik rekapitulasi (a) Temperatur dan (b) Tekanan Udara Titik 3 ...	77
Gambar 41 Data Temperatur Kelurahan Barombong	78
Gambar 42 Data Tekanan Udara Kelurahan Barombong	78
Gambar 43 Besaran Konsentrasi NO ₂ Kelurahan Barombong	82
Gambar 44 Konsentrasi NO ₂ Pengukuran Lapangan.....	86
Gambar 45 Konsentrasi NO ₂ Citra Satelit.....	86



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Dioksida (NO ₂)	13
Tabel 2. Komposisi Band Sentinel-5P: NO ₂	29
Tabel 3. Pedoman Derajat Hubungan	31
Tabel 4. Waktu Penelitian	34
Tabel 5. Koordinat Lokasi Pengukuran	37
Tabel 6. Kurva Kalibrasi	51
Tabel 7. Rekapitulasi Data Konsentrasi NO ₂ Citra Satelit Sentinel 5P 2 Oktober 2023	66
Tabel 8. Rekapitulasi Data Konsentrasi NO ₂ Citra Satelit Sentinel 5P	67
Tabel 9. Konsentrasi NO ₂ Terkonversi dari Citra Satelit.....	71
Tabel 10. Data Meteorologi Titik 1.....	73
Tabel 11. Data Meteorologi Titik 2.....	74
Tabel 12. Data Meteorologi Titik 3.....	76
Tabel 13 Volume Contoh Uji Udara yang diambil	79
Tabel 14. Rekapitulasi Nilai Adsorbansi dan Jumlah NO ₂ contoh uji.....	80
Tabel 15. Konsentrasi NO ₂ di udara ambien	81
Tabel 16. Uji Normalitas.....	84
Tabel 17. Konsentrasi NO ₂ pengukuran langsung dan citra satelit.....	85
Tabel 18. Hasil uji Korelasi <i>Pearson</i>	87



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂)

Lampiran 2 Algoritma Citra Satelit

Lampiran 3 Data Nilai *Pixel* pada Lokasi Pengukuran

Lampiran 4 Dokumentasi



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan atas segala kehadiran Allah SWT. karena atas segala nikmat, karunia, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul **“Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) Berdasarkan Citra Satelit di Kelurahan Barombong Kota Makassar”**. Tak lupa juga shalawat dan salam tetap tucurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, sebaik-baik teladan bagi ummat yang telah membawa manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak belajar dari segala hambatan yang dialami. Penulis juga ingin mengucapkan beberapa patah kata terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan banyak bantuan, bimbingan, dan kerja sama sehingga penulis mampu melewati hambatan tersebut dan menyelesaikan tugas akhir ini.

Mungkin pada bagian ini bukan hanya sebagai kata pengantar, tetapi lebih dari itu penulis ingin mengisi bagian ini sebagai ungkapan rasa terima kasih penulis pada berbagai pihak. Seperti pada kalimat pembuka bagian ini, ungkapan terima kasih penulis diawali kepada sang pencipta yang tidak lain adalah Allah SWT kemudian suri teladan ummat manusia, Nabi Muhammad SAW. Ungkapan terima kasih paling tinggi penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Almarhum Ayah Muhammad Sahid yang selalu dirindukan dan teristimewa Ibunda tersayang Sitti Murni yang telah melahirkan, merawat, membimbing, dan melindungi dengan tulus serta penuh keikhlasan, mencurahkan segala kasih sayang dan cintanya, serta senantiasa mendoakan dan dukungan sepenuh hari. Terima kasih telah menjadi *support system* terbaik.

Kepada satu-satunya saudara kandung penulis Muhammad Abdillah Sahid, terima kasih telah menjadi anak yang baik dan adik yang baik yang selalu menurut ketika dimintai tolong. Kepada sepupu dan keluarga besar lainnya yang telah menyemangatkan, memberikan doa, dukungan, motivasi, dan hal-hal yang utuhkan selama ini.



Dalam proses penyusunan tugas akhir ini hingga terselesaikannya tugas akhir ini, penulis mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Jamaluddin Jompa, M.Sc selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT selaku Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Eng Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM, ASEAN.Eng selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan bimbingan, dan meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir.
6. Ibu Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir. Menjadi anak bimbingan Ibu merupakan salah satu hal yang patut saya syukuri. Terima kasih telah sabar membimbing dari awal hingga selesainya penulisan Tugas Akhir ini. Selalu menjawab pertanyaan penulis walaupun di luar waktu kerja. Memberikan semangat dan motivasi sehingga penulis memiliki kepercayaan diri untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga segala urusan ibu dimudahkan.
7. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik atas didikan, bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan selama penulis menempuh Pendidikan di Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf 1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati, A.S., Pak Ruslan. L, S. Ap., dan Kak isha Dwi Utama, S.IP.



9. Pak Muchtar selaku Laboran Laboratorium Kualitas Udara dan kebisingan yang telah mengizinkan dan membantu penulis dalam peminjaman alat pengambilan data.
10. Pak Syarif selaku Laboran Kualitas Air yang telah mengizinkan penulis dalam proses pembuatan larutan.
11. Nurhaedah Azzahra, Aisyah Putri, Ainun Tathtira, dan Priskilla Verdina yang telah menjadi sahabat sejak masa hitam-putih hingga saat ini. Saudari yang berbagi canda tawa, semangat, ilmu, curhatan, pengalaman, dan hal-hal lainnya.
12. Siti Fatimah, Audrye Kezya, dan Azzahrawani yang telah menjadi tempat pulang dan yang selalu membantu penulis dalam masa perkuliahan.
13. Dhea Izumi Zalsabila selaku partner dalam tugas akhir ini yang telah berjuang dari pencarian judul, survei lokasi, pengambilan data, dan segala proses penyelesaian tugas akhir ini. Partner dalam mengejar *deadline*, mengurus segala macam administrasi, menerjang segala macam cuaca, tempat berbagi keluh kesah, hingga menjadi teman seperboncengan dalam setahun terakhir ini.
14. Seluruh anggota grup “bismillah wisuda September”, Danti, Dhea, Inzar, dan Nunu yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi sejak awal penyusunan tugas akhir ini.
15. Afdal, Rifqi, Andini, Danti, Arya, dan Cesha yang telah menemani dalam pengambilan data, tetap sabar walau tidur dan makan di pinggir jalan, mengangkat alat yang berat dan menemani menguji spektro dalam kampus di malam hari.
16. Muhammad Firmansyah dan Bagas Fairuz yang bersedia membantu dalam pembuatan larutan di Laboratorium Kualitas Air.
17. Danti Fitriani Ohorella yang menjadi teman Kerja Praktek selama 1 bulan di Jakarta-Gresik yang penuh dengan lika liku dan partner dalam mengeksplorasi kedua kota tersebut.
ak Afifah dan Kak Harvianti yang bersedia meluangkan waktunya untuk membantu dan menjawab pertanyaan penulis terkait pengambilan data.



19. Teman-teman Lab Riset Kualitas Udara dan Bising yang memberikan dukungan dan hiburan kepada penulis.
20. Teman-teman PORTLAND 2020 atas segala bantuan, cerita, dan kenangan selama masa perkuliahan.
21. Teman-teman KORTNOZZLE 19 yang menjadi tempat bercanda dan *healing* ketika penulis merasa suntuk dan bosan dengan perkuliahan.
22. Teman-teman KKN Posko 28 Bontoramba: Fira, Dila, Nunu, Dennis, Salam, Ibni, Fariz, Ogi, dan Faizal yang telah mengukir kenangan di Bontoramba selama 45 hari.
23. Seluruh pihak yang memberikan bantuan kepada penulis namun tidak dapat disebutkan satu per satu. Terima kasih atas bantuan, semangat, dan doa baik yang diberikan kepada penulis selama ini.
24. Terakhir, teruntuk diri saya sendiri, terima kasih telah kuat menghadapi segala lika-liku yang terjadi. Saya bangga pada diri saya sendiri, mari bekerja sama untuk lebih berkembang dan menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun, penulis berharap kedepannya tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pembaca. Akhir kata, semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Gowa, Juli 2023

Penulis,

Nur Afni Sahid



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas udara perkotaan di Indonesia menunjukkan adanya kecenderungan penurunan dalam beberapa tahun terakhir ini. Pertumbuhan ekonomi yang ditandai dengan tingginya laju urbanisasi mendorong meningkatnya kebutuhan energi, utamanya energi yang berasal dari bahan bakar minyak atau fosil. Penggunaan bahan bakar fosil didominasi oleh transportasi dan kegiatan industri. Penurunan kualitas udara terjadi karena emisi yang berasal dari transportasi, industri, domestik, atau pun kebakaran hutan telah melampaui daya dukung lingkungan (Mesha, 2017).

Indonesia merupakan salah satu negeri berkembang yang saat ini sedang giat-giatnya melaksanakan pembangunan, salah satunya dalam bidang perekonomian. Perkembangan ekonomi yang semakin pesat didukung oleh peningkatan aktivitas Masyarakat dan juga jumlah industri. Saat ini masyarakat mengandalkan transportasi sebagai penunjang aktivitas sehingga jumlah transportasi setiap tahunnya mengalami peningkatan. Menurut laporan badan statistik Indonesia (2023) pada akhir tahun 2022 tercatat sekitar 125,3 juta unit motor. Selama periode 2012 hingga 2022 jumlah sepeda motor telah bertambah sekitar 48,9 unit atau sekitar 64%. Sedangkan jumlah mobil penumpang di Indonesia sekitar 17,2 juta unit atau bertambah sebanyak 6,74 atau sekitar 65% selama periode 2012 hingga 2022. Begitu pula jumlah industri mengalami peningkatan, pada tahun 2014 jumlah industri di Indonesia sebanyak 24.529 dan mengalami peningkatan pada tahun 2022 menjadi 29.000-an. Dari aktivitas tersebut perlu disadari bahwa pencemaran lingkungan menjadi hal yang tidak dapat dihindari lagi. Padahal udara merupakan salah satu kebutuhan krusial bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi ini. Udara yang baik dan sehat dapat meningkatkan kualitas hidup seseorang.

Perwujudan menikmati kualitas udara yang baik dan sehat merupakan hak asasi manusia sebagaimana telah diatur dalam dalam Undang-undang Nomor 32 tahun



ngelolaan kualitas udara juga telah diatur dalam Peraturan Pemerintah 22 tahun 2021 pada pasal 163 hingga pasal 219. Penyelenggaraan manajemen mutu udara dilakukan dengan perencanaan, pemanfaatan, dan

pengendalian. Akan tetapi, dewasa ini kebutuhan manusia yang semakin meningkat mengakibatkan penurunan terhadap kualitas udara.

Di kota-kota besar, gas buang kendaraan bermotor berkontribusi menyumbang 60% - 70% sumber polusi udara, disusul gas buang dari cerobong asap industri yang menyumbang sebesar 10% - 15%, dan sisanya berasal dari pembakaran lainnya yaitu rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lainnya (Ismiyati et al., 2014). Gas buang kendaraan bermotor mengandung senyawa berbahaya yang berasal dari hasil pembakaran tidak sempurna seperti timbal (Pb), suspended particulate matter (SPM), oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO₂), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan oksida foto kimia (Ox) (Ismiyati et al., 2014).

Selain dari gas buang kendaraan bermotor, sumber pencemar lainnya berasal dari aktivitas rumah tangga. Penggunaan kompor gas dan bahan bakar untuk memasak di rumah tangga pada suatu wilayah secara kolektif memberikan kontribusi emisi (Riadi, 2019). Selain itu, dalam suatu kawasan pemukiman atau perumahan juga terjadi aktivitas transportasi sebagai penyumbang pencemar udara. Sumber pencemar lainnya yang berasal dari aktivitas rumah tangga adalah sampah. Sampah dapat menghasilkan gas metana yang merupakan salah satu Gas Rumah Kaca (GRK). Pembakaran sampah juga dapat menghasilkan gas CO₂, NO₂, dan partikulat. Namun konsentrasi yang dihasilkan tergantung dari jenis sampah, temperature, reaksi, pasokan oksigen, dan kecepatan angin selama proses pembakaran (Abdurrachman, A., Chandra, I. & Salam, 2020).

Berdasarkan data dari *IQAir* data kualitas udara parameter NO₂ menunjukkan kadar yang lebih tinggi dibandingkan parameter gas lainnya, dalam hal ini adalah SO₂ walaupun keduanya masih dalam kategori baik. Pada 23 maret 2023 konsentrasi NO₂ sebesar 85,6 µg/m³. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Harvianti (2021) pada jalan arteri bermedian di Kota Makassar konsentrasi NO₂ berada pada rentang 2,85-32,2 µg/m³ berdasarkan hasil analisis pengukuran langsung dan berdasarkan pemodelan konsentrasi tertinggi yaitu 60,3 µg/m³. Analisis konsentrasi udara juga dilakukan oleh Anisah (2021) di Jalan Tol Kota

; konsentrasi NO₂ berada pada rentang 3,41-29,17 µg/m³ berdasarkan analisis pengukuran langsung dan berdasarkan pemodelan berada pada



rentang 30,3-84,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Maka dari itu, dalam penelitian ini dilakukan pemantauan terhadap NO_2 berdasarkan hasil konsentrasi dari *IQAir* dan penelitian sebelumnya.

Nitrogen oksida (NO_x) merupakan kelompok gas yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO_2) yang terdapat di atmosfer. Kedua macam gas tersebut memiliki sifat yang berbeda. Nitrogen Dioksida (NO_2) merupakan polutan yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil dan sangat reaktif. Pada lingkup kawasan perkotaan 80% polutan Nitrogen dioksida (NO_2) diproduksi dari proses pembakaran pada kendaraan bermotor. Sumber lainnya dari polutan Nitrogen Dioksida (NO_2) diantaranya terjadi ketika proses pembangkit listrik yang berbahan bakar batu bara, proses industri, penyulingan gasoline dan logam, serta pemasakan makanan pada rumah tangga (M. H. Fahmi, 2019). Kadar NO_2 tidak hanya berbahaya bagi lingkungan tetapi juga berbahaya untuk kesehatan makhluk hidup (Septi Anggraini et al., 2020). Paparan Nitrogen dioksida (NO_2) memberikan efek samping bagi manusia terutama kepada sistem pernapasan (U.S. Environmental Protection Agency, 2010) dan komponen utama yang memberikan kontribusi terhadap kualitas udara maupun kualitas air hujan (hujan asam) yang terjadi, disamping sulfur dioksida (SO_2) (Muhammad, 2016).

Dengan adanya penurunan kualitas udara akibat meningkatnya konsentrasi pencemar maka perlu diadakan pengawasan dengan pemantauan terhadap pencemar udara, terutama NO_2 . Saat ini pengamatan terhadap konsentrasi NO_2 biasanya dilakukan dengan pengamatan langsung yaitu melalui stasiun pengamatan kualitas udara. Selain itu, pemerintah saat ini melalui kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mempunyai ISPU sebagai acuan untuk mengukur kualitas udara. Dalam hal ini pemerintah melaporkan kualitas udara kepada Masyarakat melalui website yang dimiliki. Akan tetapi, seiring perkembangan teknologi yang semakin maju pengamatan kualitas udara dapat dilakukan dengan memanfaatkan *visible band* dari citra satelit melalui teknologi penginderaan jauh. Satelit yang berperan dalam memonitoring kualitas udara adalah Sentinel-5P. Satelit Sentinel-5 TROPOMI merupakan bagian dari program observasi bumi “*Copernicus*” yang



an oleh European Space Agency (ESA). Penelitian ekstraksi konsentrasi menggunakan citra satelit Sentinel 5P telah dilakukan oleh dan (Saifulloh et al.) di Kuta, Bali dan (Faisal & Jaelani, 2023) di Jakarta.

Pada penelitian Saifulloh et al (2022) metode yang digunakan dengan analisis data menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan ekstraksi data penginderaan jauh menggunakan *google earth engine*. Data penginderaan jauh yang digunakan adalah sentinel 5P-TROPOMI yang sensornya memiliki kemampuan dalam mendeteksi emisi NO₂. Hasil penelitian menunjukkan nilai pixel terendah terdapat pada bulan Februari sebesar $(360,87 \times 10^{-7} \text{ mol/m}^2)$ dan yang tertinggi pada bulan November $(561,00 \times 10^{-7} \text{ mol/m}^2)$. Pada penelitian Faisal & Jaelani (2023) juga menggunakan citra satelit 5P dengan memanfaatkan *google earth engine*. Hasil ekstraksi dari citra satelit kemudian diuji tingkat korelasinya menggunakan korelasi *pearson* dengan data dari stasiun pemantau kualitas udara. Jumlah stasiun pemantauan kualitas udara yang diujikan sebanyak 9 stasiun. Berdasarkan hasil uji korelasi *pearson* menunjukkan adanya hubungan yang signifikan dari 5 stasiun dan 4 stasiun lainnya menunjukkan tidak ada hubungan yang signifikan. Adapun hasil koefisien korelasi berada pada kisaran 0,426-0,736 yang mengindikasikan korelasi sedang hingga kuat.

Berdasarkan hasil analisis citra satelit, menunjukkan hasil konsentrasi yang berbeda pada daerah lokasi penelitian. Dengan mempertimbangkan hasil ekstraksi melalui penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra Sentinel 5P menggunakan *Google Earth Engine* konsentrasi NO₂ di Kota Makassar maka ditetapkan lokasi penelitian di Kelurahan Barombong, Tamalate, Makassar. Berdasarkan hasil *output* citra satelit yang menunjukkan bahwa lokasi ini merupakan lokasi dengan konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) terendah. Maka dari itu, dilakukan penelitian pada lokasi ini untuk memvalidasi keakuratan dari pembacaan citra satelit. Apakah citra satelit akurat dalam mengestimasi konsentrasi NO₂ atau tidak dengan cara membandingkan hasil ekstraksi citra satelit dengan pengukuran di lapangan.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan ekstraksi konsentrasi NO₂ pada Kelurahan Barombong, Tamalate, Makassar. Ekstraksi konsentrasi NO₂ dilakukan dengan memanfaatkan citra satelit Sentinel-5P.



l konsentrasi NO₂ yang didapatkan, dilakukan uji statistik untuk mengukur
1 antara pengukuran yang dilakukan secara langsung menggunakan
dan hasil ekstraksi dari citra satelit.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa besar konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) dalam udara ambien di Kelurahan Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar berdasarkan citra satelit?
2. Berapa besar konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) dalam udara ambien di Kelurahan Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar berdasarkan pengukuran langsung?
3. Bagaimana perbandingan konsentrasi NO_2 dalam udara ambien dari data citra satelit dengan data pengukuran lapangan di Kelurahan Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar?

1.3 Tujuan

1. Menganalisis konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) dalam udara ambien di Kelurahan Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar berdasarkan citra satelit.
2. Menganalisis konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) dalam udara ambien di Kelurahan Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar berdasarkan pengukuran lapangan.
3. Menganalisis dan membandingkan konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO_2) dalam udara ambien dari citra satelit dengan data pengukuran lapangan di Kelurahan Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Bagi Penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

- 2) Bagi Universitas

dit dijadikan sebagai referensi bagi generasi selanjutnya yang berada di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, serta sebagai referensi bagi masyarakat luas yang fokus konsentrasinya di bidang Kualitas Udara atau sejenisnya



dalam pengerjaan tugas, penelitian lebih lanjut, atau dalam tahap penyusunan tugas akhir.

3) Bagi Masyarakat

Memberikan pengetahuan bagi masyarakat yang menempati ataupun beraktivitas di Kelurahan Barombong Kota Makassar dan sekitarnya mengenai tingkat konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂).

1.5 Ruang Lingkup

Adapun Batasan-batasan dari penelitian ini sebagai berikut

1. Parameter pencemar yang diukur dalam penelitian ini adalah Nitrogen Dioksida (NO₂) pada udara ambien.
2. Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar.
3. Penelitian ini dilakukan selama 3 hari yaitu tanggal 7-9 Juni 2023 selama 1 jam pada masing-masing interval waktu yaitu pagi, siang, sore dan malam.
4. Penelitian ini sampai pada tahap validasi konsentrasi NO₂ berdasarkan citra satelit dan pengukuran lapangan.
5. Analisis konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) menggunakan citra satelit Sentinel 5P.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Menurut Wardana (2004) udara merupakan campuran berbagai macam gas dengan konsentrasi yang tidak tetap, tergantung tekanan udara, suhu udara, dan lingkungan sekitarnya (M. H. Fahmi, 2019). Udara memiliki berbagai unsur gas yang melindungi atmosfer bumi. Udara merupakan campuran dari gas, yang terdiri dari sekitar 78% nitrogen, 20% oksigen; 0,93 % argon; 0,03 % karbon dioksida (CO₂) dan sisanya terdiri dari neon (Ne), helium (He), metana (CH₄) dan hidrogen (H₂). Udara dikatakan "normal" dan dapat mendukung kehidupan manusia apabila komposisinya seperti tersebut di atas (Giddings, 1973 dalam Fahmi, 2019).

Menurut PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, udara dibedakan menjadi dua, yaitu udara ambien dan udara emisi. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur Lingkungan Hidup lainnya. Sedangkan udara emisi adalah udara yang yang dikeluarkan oleh sumber emisi kendaraan bermotor, cerobong gas buangan industri, dan lainnya.

Menurut PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam Udara Ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan. Pencemar Udara adalah zat, energi, dan/atau komponen lainnya yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara.

Menurut Wardana (2004) dalam Sianturi (2017) Pencemaran udara dapat pula diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan terjadinya perubahan susunan komposisi udara dari susunan atau

normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing tersebut didalam udara dalam lan jangka waktu tertentu akan dapat menimbulkan gangguan pada n manusia, hewan, maupun tumbuhan.



Menurut Sugiati (2009) dalam Oktaviani (2018) secara umum penyebab pencemaran udara ada dua macam yaitu sebagai berikut :

1. *Faktor internal* (secara alamiah) seperti: debu yang beterbangan akibat tiupan angin, abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berkit gas-gas vulkanik dan proses pembusukan sampah organik dan lain-lain.
2. *Faktor eksternal* (karena ulah manusia) seperti: hasil pembakaran bahan bakar fosil, debu/serbuk dari kegiatan industri dan pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.

Menurut PP No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, sumber pencemar udara berdasarkan pergerakannya terdiri dari :

1. Sumber bergerak merupakan sumber misi yang tidak tetap pada suatu tempat yang berasal dari alat transportasi berbasis jalan seperti kendaraan bermotor, dan berbasis nonjalan seperti kereta api, alat berat, dan kendaraan berat lainnya.
2. Sumber tidak bergerak merupakan sumber Emisi yang menetap, tidak berpindah atau tetap pada suatu tempat mencakup sumber titik (*point source*) seperti cerobong pabrik dan sumber area (*area source* seperti kawasan industri, tempat pemrosesan sampah, kehutanan, perkebunan, dan perumahan).

Menurut Siangian (2019) bahan pencemar udara atau polutan berdasarkan asalnya dapat dibagi menjadi dua bagian :

1. Polutan Primer

Polutan primer adalah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu, dan dapat berupa polutan gas dan partikulat atau partikel.

2. Polutan sekunder

Polutan sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi fotokimia. Polutan sekunder mempunyai sifat fisik dan kimia yang tidak stabil. Yang termasuk dalam polutan sekunder ini lah ozon, Paroxy Acyl Nitrat (PAN), dan formaldehid.

nurut Soedomo (2001) dalam Dewi (2020) jenis sumber-sumber pencemaran berdasarkan pola emisinya yaitu:



1. Sumber pencemaran titik (*point source*), sumber pencemaran dari lokasi tertentu yang mengemisikan gas secara kontinu. Salah satu contohnya adalah cerobong asap.
2. Sumber pencemar garis (*line source*), sumber pencemaran yang mengemisikan gas dalam bentuk garis. Contohnya adalah pencemaran debu di sepanjang jalan raya, emisi gas buang dari kendaraan bermotor di sepanjang jalan raya dan juga kepulan asap dari bangunan industri yang tanpa cerobong asap sehingga emisinya menyebar secara memanjang.
3. Sumber pencemar area (*area source*), sumber pencemaran yang mengemisikan gas pada luasan tertentu. Contohnya adalah emisi gas dari kebakaran hutan yang luas, penyebaran emisi terjadi secara luas dalam satu area luasan.

2.2 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan bagian dari gas NO_x bersama dengan NO, HNO₂, dan HNO₃. Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan senyawa gas toksik, mudah larut dalam larutan alkali, kloroform dan karbon disulfide. Akan tetapi tingkat kelarutannya dalam air rendah. Umumnya senyawa gas Nitrogen dioksida (NO₂) berwarna coklat kemerahan. Pada suhu di bawah 21,2°C akan berubah menjadi larutan berwarna kuning (M. H. Fahmi, 2019).

Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan salah satu komponen utama yang memberikan kontribusi terhadap kualitas udara maupun kualitas air hujan (hujan asam) yang terjadi, disamping sulfur dioksida (SO₂) (Muhammad, 2016).

1. Sumber

Nitrogen dioksida (NO₂) terbentuk dari proses pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor, proses pembangkit listrik yang menggunakan material batu bara, dan proses industri lainnya yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil. Pada lingkup kawasan perkotaan 80% polutan Nitrogen dioksida (NO₂) diproduksi dari proses pembakaran pada kendaraan bermotor.

➤ Selain dari polutan Nitrogen Dioksida (NO₂) diantaranya terjadi ketika pembangkit listrik yang berbahan bakar batu bara, proses industri,



penyulingan gasoline dan logam, serta pemasakan makanan pada rumah tangga (M. H. Fahmi, 2019).

Pada umumnya sumber NO_2 di atmosfer berasal dari emisi alam dan antropogeni. Sumber emisis alam mencakup pembakaran alami biomassa, petir di atmosfer, dan nitrat dari aksi mikroba. Sedangkan sumber emsii antropogenik atau yang disebabkan oleh manusia meliputi pembakaran lahan pertanian, pembakan bahan bakar fosil, produksi industri, dan emisi gas buang kendaraan (F. Fahmi, 2023).

2. Dampak

Menurut Mukono (2005) dalam Sianturi (2017) , apabila udara tercemar oleh gas NO_2 dan bereaksi dengan uap air maka akan menjadi korosif dan memberikan efek iritasi terhadap mata, paru dan kulit.

1) Terhadap alat pernafasan

Iritasi terhadap paru akan menyebabkan edema paru setelah terpapar oleh gas NO_2 selama 48-72 jam, apabila terpapar dosis yang meningkat akan menjadi fatal.

2) Terhadap mata

Iritasi mata dapat terjadi apabila NO_2 berupa uap yang pekat.

3) Terhadap kulit

Iritasi terhadap kulit dapat terjadi apabila kulit kontak dengan uap air nitrogen akan menyebabkan luka bakar.

Pajanan Nitrogen dioksida (NO_2) memberikan efek samping bagi lingkungan terutama kepada sistem pernapasan manusia. Pada beberapa laporan, selama 30 menit-24 jam pajanan NO_2 akan memberikan efek yang merugikan pada sistem pernapasan manusia yaitu inflamasi atau peradangan saluran pernapasan (U.S. Environmental Protection Agency, 2010).

Pencemaran udara oleh gas NO_2 dapat menyebabkan timbulnya *Peroxy Acetil Nitrates* (PAN). Campuran PAN bersama senyawa kimia lainnya yang ada di udara menyebabkan terjadinya kabut fotokimia atau *Photo Chemistry Smog*

berdampak pada lingkungan yaitu menurunkan jarak pandang yang dapat menyebabkan kecelakaan (Seaton, 2015).



3. Pengukuran Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂)

Pada umumnya pengukuran kualitas udara ambien dilakukan dengan menggunakan *Air Sampler Impinger*. Pengukuran kualitas udara ambien telah ditetapkan dalam SNI 19-7119.2-2017. Berdasarkan SNI ini pengukuran kualitas udara ambien untuk gas NO₂ dilakukan menggunakan metode *Griess-Saltzman* menggunakan spektrofotometer.

Berdasarkan SNI 19-7119.2-2017 prinsip pengukuran kualitas udara untuk parameter NO₂ adalah gas nitrogen dioksida dijerap dalam larutan *Griess Saltzman* sehingga membentuk *azo dye* berwarna merah muda yang stabil setelah 15 menit. Konsentrasi larutan ditentukan secara spektrofotometri pada Panjang gelombang 550 nm. Setelah diukur menggunakan spektrofotometer akan keluar nilai adsorbansi yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi. Jumlah NO₂ dalam larutan standar dihitung menggunakan persamaan 1.

$$NO_2 = \frac{a}{100} \times \frac{46}{69} \times \frac{1}{f} \times \frac{10}{1000} \times 10^6 \quad (1)$$

Keterangan :

- NO₂ : Jumlah NO₂ dalam larutan standar NaNO₂ (µg/mL);
- a : Berat NaNO₂ yang ditimbang (g);
- 46 : Berat molekul NO₂
- 69 : Berat molekul NaNO₂
- f : Faktor yang menunjukkan jumlah mol NaNO₂ yang menghasilkan warna yang setara dengan 1 mol NO₂ (nilai f = 0,82);
- 10/100 : Faktor pengenceran dari larutan induk NaNO₂;
- 10⁶ : Konversi dari gram ke µg

Volume sampel yang diambil, kemudian dikoreksi pada saat kondisi normal yaitu 25°C dan 760 mmHg dengan mengacu pada persamaan 2.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{2} \times t \times \frac{Pa}{Ta} \times \frac{298}{760} \quad (2)$$

Keterangan :

- V : volume udara yang diambil dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg (Nm³);
- Q_i : pencatatan laju alir ke-1 (Nm³/menit)



- t : Durasi pengambilan contoh uji (menit);
- Pa : Tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg);
- Ta : Temperatur rata-rata selama pengambilan contoh uji dalam Kelvin (K);
- 298 : Konversi temperatur pada keadaan normal (25°C) ke dalam Kelvin (K);
- 760 : Tekanan udara standar (mmHg)

Konsentrasi senyawa NO₂ yang berada pada udara ambien akan dihitung menggunakan persamaan 3.

$$C = \frac{b}{V_u} \times \frac{V_1}{25} \times 1000 \quad (3)$$

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);
- V₁ : volume akhir larutan penjerap (mL)
- 25 : volume larutan standar dalam labu ukur
- 1000 : Konversi Liter ke m³

4. Metode Pemantauan

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010 secara garis besar, metode pemantauan kualitas udara ambien terdiri dari dua metode yaitu manual dan otomatis. Metode manual dilakukan dengan cara pengambilan sampel udara kemudian dianalisis di laboratorium. Metode manual dibedakan menjadi metode passive dan aktif. Metode otomatis dilakukan dengan menggunakan alat yang dapat mengukur kualitas udara secara langsung dan menyimpan datanya.



Pemantauan kualitas udara otomatis terdiri dari Stasiun pemantau Kualitas Udara (SPKU) permanen (*fixed station*) dan bergerak (*mobile station*).

-) SPKU permanen dipasang di lokasi tertentu dan mengukur kualitas udara ambien secara kontinu 24 jam secara terus menerus.

- 2) SPKU bergerak dipasang di lokasi tertentu dan mengukur kualitas udara ambien minimal 7 hari secara terus menerus.

Untuk mendapatkan data harian (24 jam) dilakukan Perata-rataan aritmatik dari 4 kali hasil pemantauan (pagi, siang, sore, malam) dengan lama waktu pengukuran 1 jam pada masing-masing interval waktu. Adapun interval waktu pengukuran sebagai berikut.

- 1) Interval waktu 06.00 - 10.00 (pagi)
- 2) Interval waktu 10.00 – 14.00 (siang)
- 3) Interval waktu 14.00 – 18.00 (sore)
- 4) Interval waktu 18.00 – 22.00 (malam)

5. Baku Mutu Nitrogen Dioksida (NO₂)

Baku mutu udara ambien Nitrogen Dioksida diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan pada lampiran VII. Menurut Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam udara ambien. Baku mutu udara digunakan sebagai batasan untuk kadar unsur pencemar tertentu dalam udara ambien. Polutan yang kadarnya melebihi baku mutu akan mengganggu lingkungan dan berpotensi menimbulkan dampak bagi makhluk hidup. Berikut baku mutu udara ambien untuk parameter Nitrogen Dioksida (NO₂) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Udara Ambien Nitrogen Dioksida (NO₂)

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Metode Analisis	Peralatan
Nitrogen	1 jam	200 µg/Nm ³	Griess Saltzman	<i>Spektrofotometer</i> <i>UV-Vis</i>
Dioksida	24 jam	65 µg/Nm ³		
(NO ₂)	1 tahun	50 µg/Nm ³		

Sumber: Peraturan Pemerintah No. 22, 2021



inger

dapat beberapa cara dalam pengambilan contoh dari udara, yaitu dengan *detector*, *impinger*, *botol sampling*, absorbs dan adsorpsi. Di antara metode

sampling tersebut, metode sampling menggunakan *impinger* merupakan metode sederhana untuk pengambilan contoh dengan penerapan yang lebih luas. Ketelitian hasil analisis cukup memadai. Metode sampling ini dapat digabungkan dengan metode pengukuran laboratorium baik secara konvensional maupun instrumental (Yanti, 2012).

Pada hakikatnya, prinsip kerja *Air Sampler Impinger* adalah menarik udara terkontaminasi di udara bebas (ambien) ke dalam larutan penjerap yang terdapat dalam taung gelas impinger. Gas kontaminan dalam udara yang dihisap oleh unit pompa ke dalam tabung yang berisi larutan penjerap tersebut akan bereaksi dengan membentuk gelebung-gelembung udara dalam larutan penjerap. Oleh karena itu, pada bagian luar pipa tengah impinger diberikan tonjolan kecil untuk memecah gelembung. Hasil reaksi antara gas kontaminan dengan larutan penjerap kemudian diukur di laboratorium (Insciencepro, 2013). Berikut adalah gambar impinger beserta bagian-bagiannya.



Gambar 1 *Impinger*

Sumber: (Koesmawati & Suryapranata, 2017)





Gambar 2 Bagian *Impinger*

Sumber: (Koesmawati and Suryapranata, 2017)

Peralatan inti *impinger* terdiri dari tabung *impinger*, pompa pengisap, *flow meter*, dan tabung pengaman. Pengambilan data dengan menggunakan *impinger* dapat dilakukan pada lima jenis gas sekaligus, yaitu SO_2 , H_2S , NO_2 , NH_3 , dan oksidan dengan pengujian mengacu pada metode standar pada SNI (Koesmawati and Suryapranata, 2017).

1) Tabung *Impinger*

Tabung *impinger* berfungsi ununtk menampung larutan penjerap. Ada dua jenis tabung *impinger*, yaitu tabung yang berwarna bening dan coklat. Tabung yang berwarna coklat khusus digunakan untuk pengambilan sampel NO_2 .

2) Pompa pengisap udara

Pompa pengisap udara berfungsi mengisap udara bebas ke dalam tabung *impinger*. Pompa dimodifikasi sehingga memiliki aliran udara masuk dan keluar dengan system penggerak magnetik yang menghasilkan vibrasi atas katup/membran ganda. Pengaturan kecepatan hisap pompa di atur oleh potensiometer. Potensiometer digunakan untuk mengatur kecepatan penghisapan udara dengan rentang 0,25-2,5 L/menit. Kecepatan aliran udara mempengaruhi pengambilan sampel udara.

3) *Flow meter*

Flow meter berfungsi sebagai alat pengukur kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam tabung *impinger*. Alat *flow meter* ditempatkan di panel depan alat. *Flow meter* yang dipasang memiliki rentang skala 0,25 hingga 5 L/menit.



4) Tabung pengaman

Tabung pengaman berfungsi sebagai pengaman terhadap system pompa hisap. Ketika proses pengambilan contoh udara terdapat uap air yang ikut masuk ke dalam sistem pompa sehingga dapat menyebabkan pompa menjadi lembab. Apabila uap air tersebut terus menerus masuk akan menyebabkan sistem pompa menjadi rusak. Tabung pengaman diisi dengan silika gel yang mampu menyerap uap air sebelum masuk ke dalam pompa. *Silica gel* awalnya berwarna biru akan tetapi jika jenuh dengan uap air maka akan berubah menjadi warna merah muda.

2.4 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah alat yang digunakan untuk mengukur panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Spektroskopi UV-Vis biasanya digunakan untuk molekul atau ion anorganik atau ion kompleks pada larutan. Sinar ultraviolet berada pada Panjang gelombang 200-400 nm, sedangkan sinar tampak berada pada Panjang gelombang 400-800 nm (Suarsa, 2015).

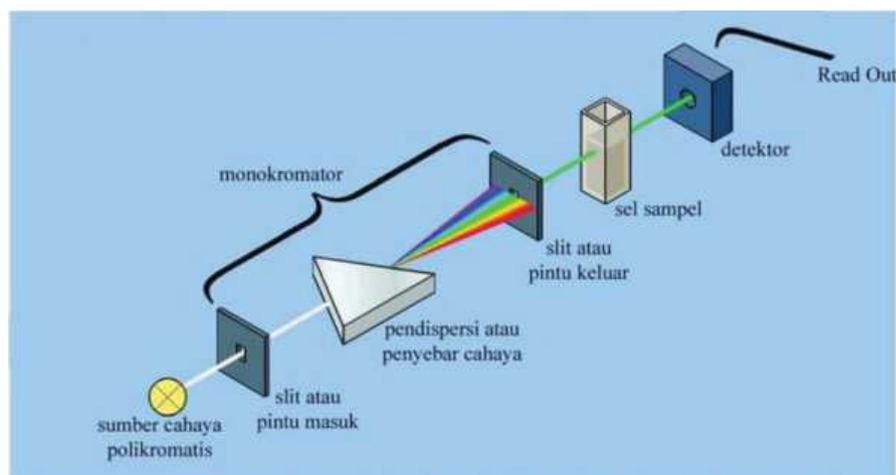
Menurut Sastromidjojo (2007) spektrofotometer UV-Vis adalah alat yang digunakan dalam pengukuran absorbansi dengan cara melewatkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu pada suatu objek kaca yang disebut kuvet. Sebagian dari cahaya tersebut akan dilewatkan dan Sebagian lainnya akan diserap. Nilai adsorbansi dari cahaya yang di serap sebanding dengan konsentrasi larutan di dalam kuvet (Jati, 2018).

Spektrofotometer UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif daripada kualitatif karena pengukuran spektrofotometri menggunakan alat spektrofotometer yang melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis. Konsentrasi dari analit didalam larutan dapat ditentukan dengan mengukur absorban pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan hukum Lambert-Beer (Rohman, 2007 dalam Jati, 2018). Hukum

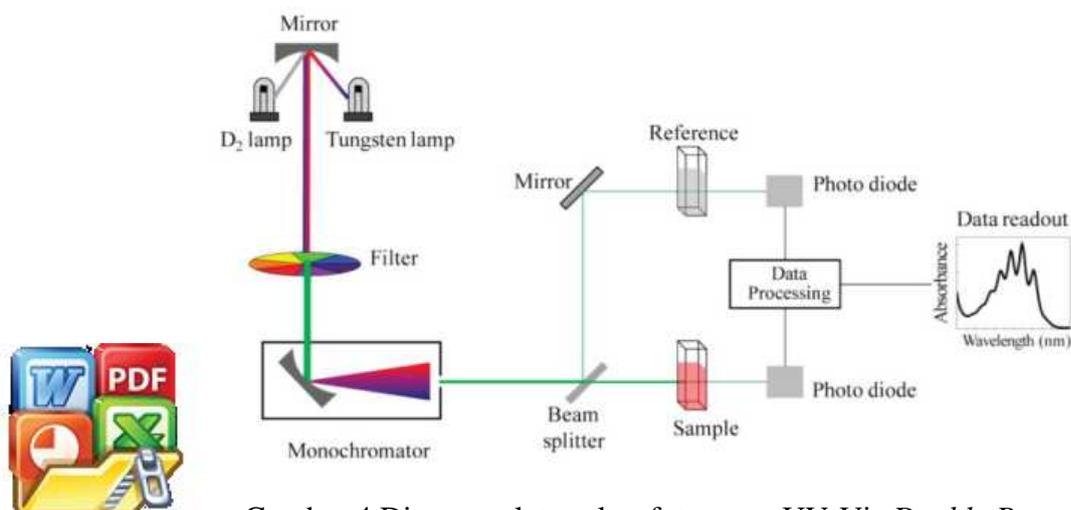
Beer adalah hubungan linearitas antara absorban dengan konsentrasi sampel (Suarsa, 2015).



Spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk penentuan pada sampel yang bentuk larutan, gas atau uap. Pada umumnya sampel diubah menjadi suatu larutan yang yang jernih. Konsentrasi sampel perlu diperhatikan untuk mendapatkan spektrum UV-Vis. Hubungan antara absorbansi terhadap konsentrasi akan linier apabila nilai absorbansi larutan antara 0,2-0,8 atau sering disebut sebagai hukum Lambert-Beer. Spektrofotometer memiliki dua tipe yaitu spektrofotometer sinar tunggal dan spektrofotometer sinar ganda. *Single beam instrument* digunakan kuantitatif dengan mengukur adsorbansi pada Panjang gelombang tunggal. Sedangkan *double beam instrument* memiliki dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin yang berbentuk V dengan sinar pertama melewati blanko dan sinar kedua melewati sampel (Suhartati, 2017). Diagram alat spektrofotometer UV-Vis *single beam* dapat dilihat pada Gambar 3 dan diagram alat spektrofotometer UV-Vis *double beam* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3 Diagram alat spektrofotometer UV-Vis *Single Beam*



Gambar 4 Diagram alat spektrofotometer UV-Vis *Double Beam*



2.5 Penginderaan Jauh

Menurut Lillesand dan Kiefer (2004) penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi mengenai objek, area, atau fenomena tanpa adanya kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena tersebut. Informasi tersebut diperoleh dengan menggunakan alat yang berupa sensor atau alat pengindra. Sedangkan menurut Lindgren (1985) dalam Muhsoni (2015) penginderaan jauh didesinisikan sebagai teknik yang dikembangkan untuk memperoleh dan menganalisis mengenai informasi bumi, khususnya informasi yang berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan dari permukaan bumi.

Berdasarkan pendapat di atas, dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh terdiri dari tiga komponen utama yaitu objek, sensor, dan gelombang elektronik. Objek yang diindera, sensor yang berperan sebagai perekam, dan gelombang elektronik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh permukaan bumi. Interaksi dari ketiga komponen ini menghasilkan data penginderaan jauh yang kemudian melalui proses interpretasi dapat diketahui jenis objek area atau pun fenomena yang ada.

Danoedoro (2012) menjelaskan perkembangan teknologi penginderaan jauh yang awalnya dikembangkan dari Teknik interpretasi foto udara pada tahun 1919. Di Indonesia sendiri, penggunaan foto udara untuk pemetaan sumber daya dimulai awal 1970-an. Satelit monitoring sumber daya pertama diluncurkan pada tahun 1972. Satelit tersebut adalah satelit ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*). Hingga saat ini terdapat ratusan jenis satelit dengan berbagai tingkat ketelitian dan panjang gelombang dimanfaatkan untuk berbagai kajian permukaan bumi (Suryadi, 2021).

1. Konsep Dasar Penginderaan Jarak Jauh (Inderaja)

Konsep-konsep yang terdapat dalam sebuah sistem penginderaan jauh sebagai berikut.

- a. Akuisisi dan interpretasi citra dari angkasa dan udara
- b. Sumber utama dari data geografis
- c. Penginderaan jauh termasuk teknik-teknik akuisisi data dan prosesnya dimanapun pada bumi

Potensial untuk perubahan yang konsisten dan berulang-ulang



- e. Banyak sistem analisa citra yang terdiri dari fungsi-fungsi analitik yang canggih
- f. Data yang telah diinterpretasi pada system inderaja dapat digabung data lapisan pada sebuah Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem penginderaan jauh dalam prosesnya melibatkan interaksi antara radiasi dan target yang diinginkan. Hal ini diperjelas dengan penggunaan sistem pencitraan (*imaging system*) yang terdiri dari tujuh elemen.

- a. Sumber energi

Sumber energi berperan untuk memberikan energi elektromagnet ke objek yang diinginkan.
- b. Radiasi dan atmosfer

Bersamaan dengan berpindahnya energi dari sumber energi ke objek, energi akan berinteraksi dengan atmosfer yang dilaluinya. Interaksi ini mungkin dapat terjadi lagi ketika energi berpindah dari objek target ke sensornya.
- c. Interaksi dengan objek target

Pada saat energi yang ada berpindah melalui atmosfer ke objek target, energi akan berinteraksi dengan targetnya sesuai dengan sifat dari target dan radiasi yang ada.
- d. Perekaman energi oleh sensor

Setelah energi telah dipisahkan dari objek target, dibutuhkan suatu sensor (yang terpisah dari target) untuk mengumpulkan dan merekam radiasi elektromagnetiknya.
- e. Proses transmisi, penerimaan dan pemrosesan

Energi yang telah direkam oleh sensor selanjutnya harus ditransmisikan, biasanya dilakukan secara elektronik menuju ke suatu stasiun penerima dan pengolah dimana data akan diproses menjadi suatu citra (cetak maupun digital).
- f. Interpretasi dan analisa

Citra yang telah di proses diinterpretasikan secara elektronik maupun digital untuk menghasilkan informasi tentang objek target yang

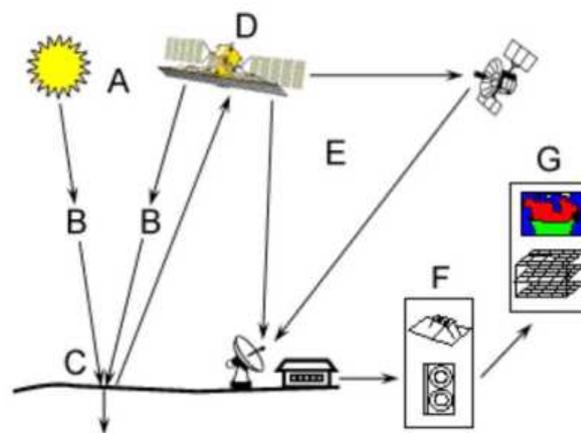


beriluminasi atau memberikan energi elektromagnet ke objek yang diinginkan.

g. Aplikasi

Bagian akhir dari proses penginderaan jauh diperoleh ketika informasi yang dihasilkan dari pencitraan objek digunakan untuk mendapatkan penjelasan ataupun informasi baru atau informasi tersebut dapat dijadikan pemecahan suatu masalah.

Skema penginderaan jauh dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Skema Penginderaan Jauh

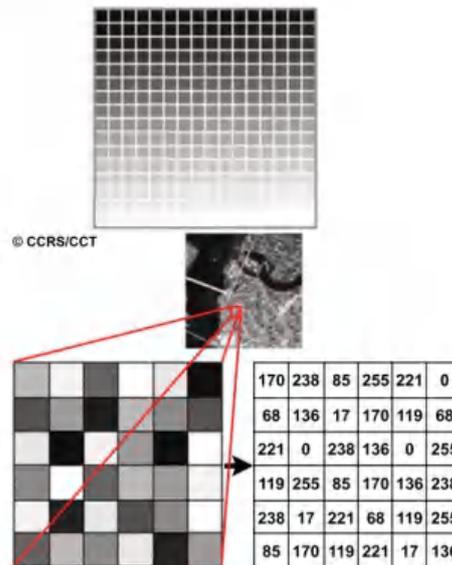
2. Karakteristik Citra

a. *Pixel*

Pixel atau *picture element* adalah sebuah titik yang merupakan elemen paling kecil pada citra satelit. *Pixel* yaitu sel-sel penyusun gambar. Angka numerik dari *pixel* disebut *digital number* (DN). *Digital number* dapat ditampilkan dalam warna kelabu, berkisar anatar hitam dan putih (*gray scale*), tergantung dari level energi yang terdeteksi. *Pixel* yang disusun dalam order yang benar akan membentuk sebuah citra. Kebanyakan citra yang belum diproses disimpan dalam bentuk *gray scale*. Untuk penginderaan jauh, skala yang dipakai adalah *256 shade gray scale*, dimana 0 menggambarkan hitam dan nilai 255 menggambarkan putih. Gambar 2 menunjukkan derajat keabuan yang menyusun sebuah citra. Untuk citra multispectral, masing-masing *pixel* memiliki beberapa DN



sesuai dengan jumlah band yang dimiliki. Sebagai contoh, untuk landsat 7 masing-masing *pixel* mempunyai 7 DN dari 7 band yang dimiliki. Pixel dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pixel

b. *Contrast*

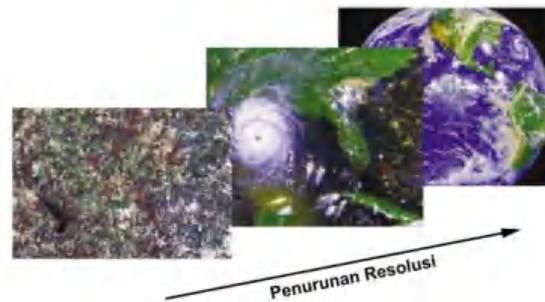
Contrast adalah perbedaan antara brightness relative anatar sebuah benda dengan sekelilingnya pada citra. Sebuah bentuk tertentu mudah terdeteksi apabila pada sebuah citra kontras antara bentuk tersebut dengan *background*-nya tinggi. Teknik pengolahan citra bisa dipakai untuk mempertajam *contrast*.

Sebagai dataset, citra dapat dimanipulasi menggunakan *algorithm* (persamaan matematis). Manipulasi dapat berupa pengoreksian *error*, pemetaan kembali data terhadap suatu referensi geografi tertentu ataupun mengekstrak informasi yang tidak langsung terlihat dari data. Data dari dua citra pada lokasi yang sama dapat dikombinasikan secara matematis untuk membuat *composite* dari beberapa dataset. Produk data ini disebut *derived products* yang dapat dihasilkan dengan beberapa perhitungan matematis atas data numerik mentah (DN).



c. Resolusi

Resolusi dari citra adalah karakteristik yang menunjukkan level detail yang dimiliki oleh citra. Resolusi adalah area dari permukaan bumi yang diwakili oleh sebuah pixel sebagai elemen terkecil dari sebuah citra. Pada citra pemantau cuaca yang memiliki resolusi 1 km, masing-masing pixel mewakili rata-rata nilai *brightness* dari sebuah area berukuran 1x1 km. Bentuk yang lebih kecil dari 1 km susah dikenali melalui *image* dengan resolusi 1 km. Resolusi merupakan hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan citra yang akan digunakan terutama dalam hal aplikasi, waktu, biaya, ketersediaan, citra, dan fasilitas komputasi. Gambar 7 menunjukkan perbandingan dari tiga resolusi citra yang berbeda.



Gambar 7 Resolusi Citra

Data citra satelit sebagai hasil dari perekaman satelit mempunyai beberapa karakter yaitu sebagai berikut.

- a. Karakter spasial atau resolusi spasial menunjukkan level dari detail yang ditangkap oleh sensor. Sebagai contoh, pada Landsat TM mempunyai luasan terkecil yang mampu direkam sebesar 30 x 30 m dan dapat merekam daerah selebar 185 km. 1 *scene* citra landsat memiliki luas 185 km x 185 km (Suryadi, 2021).
- b. Karakter spektral atau resolusi spektral menunjukkan lebar kisaran dari masing-masing band spektral yang diukur oleh sensor. Resolusi spektral juga dapat dikatakan sebagai kemampuan sensor satelit terhadap identifikasi objek dengan lebar pita (*bandwidth*) atau kisaran panjang gelombang elektromagnetik tertentu (F. Fahmi, 2023)



- c. Karakteristik Temporal menunjukkan interval waktu antar pengukuran. Citra satelit mampu merekam suatu wilayah secara berulang dalam waktu tertentu (Suryadi, 2021).

3. Citra Digital

Citra digital ada citra yang diperoleh, dimanipulasi, disimpan, dan ditampilkan dengan basis logika biner. Citra digital penginderaan jauh diperoleh dari sistem perekaman melalui sensor yang dipasang pada satelit atau pesawat terbang. Citra dalam format digital disimpan dalam media optik, magnetik, ataupun media lain (disket, hardisk, compact disk, optical disk, flash disk, ataupun *computer compatible tape/CCT*) dan bisa ditampilkan menjadi gambar pada layer monitor komputer. Citra digital menggambarkan kenampakan permukaan bumi yang diperoleh melalui proses perekaman pantulan (*reflectance*), pancaran (*emittance*) ataupun hamburan balik (*backscatter*) gelombang elektromagnetik dengan sensor optik elektronik terpasang pada suatu wahana, pesawat udara maupun wahana ruang angkasa (Muhsoni, 2015)

Menurut Sutanto (1986) dalam Muhsoni (2015) menyatakan peningkatan peningkatan penggunaan citra penginderaan jauh dilandasi oleh alasan sebagai berikut:

- a. Citra menggambarkan objek, daerah, dan gejala di permukaan bumi dengan wujud dan letaknya mirip dengan di permukaan bumi
- b. Citra menggambarkan objek, daerah, dan gejala yang relative lengkap, mencakup daerah yang luas dan permanen.
- c. Pada jenis citra tertentu dapat ditampilkan gambaran tiga dimensi apabila menggunakan stereoskop dalam pengamatannya.
- d. Citra mampu dibuat secara cepat meskipun pada daerah yang sulit dijelajahi secara terrestrial.

2.6 Google Earth Engine (GEE)



Salah satu teknologi di bidang penginderaan jauh yang memanfaatkan *big data* berbasis *cloud computing* adalah GOOGLE Earth Engine (GEE). Teknologi *cloud computing* artinya semua kegiatan yang terjadi di

google earth engine memanfaatkan internet sebagai pusat manajemen data, aplikasi, dan penyimpanan (Sukoco et al., 2022). *Google earth engine* (GEE) adalah platform komputasi awan yang dirancang untuk menyimpan dan memproses kumpulan data besar (pada skala petabyte) untuk dianalisis dan pengambilan keputusan akhir (Mutanga & Kumar, 2019). *Google earth engine* merupakan suatu *cloud computing* yang menyediakan data sekaligus fasilitas data. Pengguna tidak harus mengunduh data yang cukup besar sehingga dapat menghemat waktu pengunduhan dan kapasitas penyimpanan. Pengolahan data juga dilakukan di *server* sehingga pengguna tidak harus memiliki perangkat dengan spesifikasi tinggi serta tidak perlu memasang perangkat lunak pengolahan data citra.

Google earth engine juga menyediakan fasilitas pengunggahan data raster dan vector sehingga pengguna dapat mengolah data yang tidak tersedia di GEE dan mengunggah batas daerah sebagai focus daerah yang akan diolah. Fasilitas pengolahan data menggunakan Bahasa pemrograman *JavaScript*. GEE tidak hanya menyediakan data mentah tetapi juga data olahan. Beberapa data yang tersedia diantaranya adalah Landsat, Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-5P, Modis, VIRS, suhu permukaan, DEM, SRTM, curah hujan, indeks kekeringan, data geofisika, dan lainnya. Data yang disediakan GEE dapat diakses informasi metadatanya. Hal ini memudahkan pengguna untuk memodifikasi data. GEE juga menyediakan contoh *Application programming interface* (API) yang dapat disalin (Nugroho et al., 2019).

2.7 JavaScript

Saat ini perkembangan teknologi penginderaan jauh telah mengarah ke pengolahan berbasis *cloud computing*. Pengolahan *cloud computing* ini telah menerapkan prinsip *machine learning* dalam pengerjaannya sehingga dapat memanfaatkan sistem computer yang telah terintegrasi dengan *provider Google Earth Engine*. Dalam melakukan pengolahan data geospasial di *Google Earth Engine* perlu diketahui perintah pengolahannya (Sukoco et al., 2022). Javasript



in bahasa pemrograman yang berbentuk kumpulan skrip yang pada akhirnya berjalan pada dokumen HTML, dalam sejarah internet bahasa ini adalah skrip pertama untuk web (Digdo Pringgo, 2015). Biasanya *javascript*

digunakan untuk memanipulasi element-element HTML dan menambahkan style secara otomatis (Muthohir, 2021).

Menurul Rijal (2020) dalam (Sukoco et al., 2022) secara umum penanda yang terdapat di dalam *JavaScript* diantaranya:

- 1) Dua garis miring (*//*) artinya komentar
- 2) *Semicolon* atau titik koma artinya mengakhiri perintah
- 3) Petik satu ('...') menandakan tipe data *string* atau teks
- 4) Print artinya memerintahkan sistem untuk menampilkan eksekusi perintah pada bagian *console* di *Google Earth Engine*
- 5) Kurung siku ([...]) artinya perintah untuk menampilkan perintah yang diproses pada *console* dalam bentuk daftar atau *list* ke bawah.
- 6) Kurung kurawal {...} artinya perintah menampilkan *list* dalam *list* pada bagian *console Google Earth Engine*
- 7) Function yaitu menampilkan perintah yang disertai parameter. Kurung buka dan kurung tutup (...) sebagai penanda parameter sedangkan perintah ditandai dengan kurung kurawal {...} yang diletakkan di dalam parameter kurung buka dan kurung tutup.

2.8 Sentinel

European Space agency (ESA) mengembangkan misi baru yang disebut dengan sentinel. Sentinel khusus untuk kebutuhan operasional program Copernicus. Misi-misi ini membawa berbagai teknologi, seperti radar dan instrumen pencitraan multi-spektral untuk pemantauan darat, laut, dan atmosfer. Berikut dijelaskan misi-misi sentinel.

- 1) Sentinel-1 adalah misi pencitraan radar yang mengorbit di kutub, di segala cuaca, siang dan malam untuk layanan daratan dan lautan. Sentinel 1A diluncurkan pada 3 April 2014 dan sentinel 1b pada 25 April 2016. Akan tetapi, misi sentinel 1B berakhir pada tahun 2022 dan akan diluncurkan sentinel 1C sesegara mungkin.



Sentinel-2 adalah misi pencitraan resolusi tinggi multispektral yang mengorbit di kutub untuk pemantauan lahan yang menyediakan citra vegetasi, tutupan tanah dan air, saluran air pedalaman dan daerah pesisir.

Sentinel-2 juga dapat memberikan informasi untuk layanan darurat. Sentinel-2A diluncurkan pada tanggal 23 Juni 2015 dan Sentinel-2B pada tanggal 7 Maret 2017.

- 3) Sentinel-3 adalah misi multi-instrumen untuk mengukur topografi permukaan laut, suhu permukaan laut dan daratan, warna laut dan warna daratan dengan akurasi dan keandalan kelas atas. Misi ini mendukung sistem prakiraan laut, serta pemantauan lingkungan dan iklim. Sentinel-3A diluncurkan pada tanggal 16 Februari 2016 dan Sentinel-3B pada tanggal 25 April 2018.
- 4) Sentinel-5 *Precursor* atau sentinel 5P adalah cikal bakal sentinel 5 yang menyediakan data tepat waktu mengenai berbagai macam gas dan aerosol yang memengaruhi kualitas udara dan iklim. Sentinel 5P diluncurkan ke orbit pada 13 Oktober 2017. Monitoring kualitas udara yang terdiri dari ozon, metana, formaldehida, aerosol, karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan sulfur dioksida di atmosfer.
- 5) Sentinel-6 membawa *altimeter* radar untuk mengukur ketinggian permukaan laut global, utamanya untuk oseanografi operasional dan studi iklim. Satelit pertama diluncurkan ke orbit pada 21 November 2020.

2.9 Sentinel-5P

Copernicus Sentinel 5P merupakan hasil kolaborasi antara ESA, Komisi Eropa, Kantor luar angkasa Belanda, industri, pengguna data, dan ilmuwan. Misi tersebut terdiri dari satu satelit yang membawa instrument TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI). Citra satelit Sentinel-5 *Precursor* dapat memantau kualitas udara dengan produk data diantaranya O₃, NO₂, SO₂, CO, dan CH₄ (Anisa & Afgatiani, 2020). Produk data ini dapat dianalisis melalui platform *Google Earth engine* yang menawarkan analisis citra satelit melalui *big data* dalam penginderaan jauh dengan menggunakan Bahasa pemrograman *JavaScript* (F. Fahmi, 2023).



satelit Sentinel-5 TROPOMI merupakan bagian dari program observasi "Copernicus" yang diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) untuk memantau polusi udara. Sentinel-5 difokuskan pada kualitas udara dan komposisi

interaksi iklim dengan produk data utama adalah O_3 , NO_2 , SO_2 , formaldehida, dan aerosol. Selain itu Sentinel-5 juga akan memberikan parameter kualitas untuk CO , CH_4 , dan stratosfer O_3 dengan cakupan global harian untuk aplikasi iklim, kualitas udara, dan ozon / UV permukaan (ESA, 2020). Satuan dari *output* sentinel adalah mol/m^2 . Satelit sentinel 5P dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Satelit Sentinel-5P

Sentinel-5P, menggunakan teknik penginderaan jauh pasif untuk mencapai tujuannya dengan mengukur, di Top Of Atmosphere (TOA), radiasi matahari yang dipantulkan dan dipancarkan dari bumi. Instrumen beroperasi dalam konfigurasi sapu dorong (non-pemindaian), dengan lebar sapuan ~ 2600 km di permukaan bumi. Satelit tersebut berhasil diluncurkan pada 13 Oktober 2017 dari kosmodrom Plesetsk di Rusia. Instrumen TROPOMI menggabungkan kekuatan SCIAMACHY, OMI, dan teknologi canggih untuk memberikan pengamatan dengan pertunjukan yang tidak dapat dipenuhi oleh instrumen saat ini di luar angkasa. Kinerja instrumen orbit saat ini dilampaui dalam hal sensitivitas, resolusi spektral, resolusi spasial dan resolusi temporal (European Space Agency, 2014). Data Nitrogen Dioksida dirilis pada 10 Juli 2018 serta dapat diakses dengan platform GEE. NO_2 pada GEE memiliki resolusi spasial $0,01^\circ$ atau 1,11 km per pixel (Saifulloh et al., 2022).



alui Sentinel-5P dapat memantau penurunan polusi udara sekitar 45-
 erapa kota di dunia jika dibandingkan pada periode yang sama tahun
 A, 2020). Sedangkan melalui satelit Ozone Monitoring Instrument

(OMI) dapat dilihat penurunan gas NO_2 sekitar 10-30% dari biasanya di dataran Cina (NASA, 2022). Sentinel-5P memiliki resolusi spasial 5,5x3,5 km. Resolusi ini lebih tinggi dibandingkan resolusi spasial OMI, yaitu 13x25 km (Anisa & Afgatiani, 2020).

Tujuan utama misi Copernicus Sentinel 5P untuk melakukan pengukuran atmosfer dengan resolusi spatio-temporal tinggi, yang akan digunakan untuk kualitas udara, radiasi, ozon & Ultraviolet, serta pemantauan dan perkiraan iklim. Produk data Sentinel -5 dibagi menjadi tiga tingkatan dalam pemrosesan data yaitu sebagai berikut:

- 1) Level-0 berisi *Instrument Source packet (ISP)* atau paket sumber instrumen yang ditampilkan berdasarkan waktu. Akan tetapi, produk level-0 tidak dapat diakses oleh publik karena data tersebut diarsipkan.
- 2) Level-1b memuat data berupa pancaran bumi *Top Of Atmosphere (TOA)*, letak geografis atau geo-located dan telah terkoreksi secara radiometrik. Yang termasuk dalam produk Level-1B yaitu *Radiance UV, Radiance NIR, Radiance SWIR* dan *Irradiance*.
- 3) Level-2 terdiri dari data besaran geofisika yang diperoleh dari pemrosesan data pengukuran yang disediakan produk Level-1B. Produk data pada Level-2 yaitu *Ozone (O_3) total column, Nitrogen Dioxide (NO_2), Sulphur Dioxide (SO_2) total column, Carbon Monoxide (CO_3) total column, Methane (CH_4) total column, Formaldehyde (HCHO) total column, dan UV Aerosol Index*.

Pemrosesan data pada produk Level-2 dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

- 1) *Near Real Time (NRTI)* tersedia dalam kurun waktu 3 jam sejak dilakukan penginderaan. Namun, seiring waktu data NRTI digantikan oleh data OFFL dikarenakan data NRTI terkadang tidak lengkap dan memiliki kualitas data yang sedikit lebih rendah.
- 2) *Offline (OFFL)* untuk produk level 2 ini tersedia sekitar seminggu setelah dilakukan akuisisi data dan produk OFFL ini memiliki kualitas yang lebih tinggi dibandingkan data NRTI. Untuk data OFFL, produk disimpan sebagai file tunggal per orbit satelit.



Parameter Level 2 *Nitrogen Dioxide* (NO_2) dapat digunakan untuk berbagai keperluan diantaranya asimilasi data, validasi model, perbandingan melalui penginderaan jauh permukaan ataupun pada lapisan troposfer atau stratosfer. Kemudian setelah melalui pemrosesan, data dapat digunakan untuk memvisualisasi variasi NO_2 dalam waktu harian (F. Fahmi, 2023). Komposisi *band* pada produk data *Sentinel-5P OFFL NO₂* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Band Sentinel-5P: NO_2

Nama	Satuan	Min	max	Keterangan
NO_2 _column_number_density	mol/m ²	-0.0051*	0.0192	Total kolom vertical NO_2 (rasio kerapatan kolom miring NO_2 dan faktor massa udara total)
Tropospheric_ NO_2 _column_number_density	mol/m ²	-0.0005375*	0.019204	Kolom vertical troposfer NO_2
Stratospheric_ NO_2 _column_number_density	mol/m ²	8.6e-06*	0.000107	Kolom vertical stratosfer NO_2
NO_2 _slant_column_number_density	mol/m ²	1.48e-05*	0.003908	NO_2 s kerapatan kolom miring

*perkiraan nilai min dan max

Sumber: developers.google.com

Menurut Savenets (2021) data asli sentinel direpresentasikan sebagai produk level 2, akan tetapi *Google Earth Engine* telah mengonversinya menjadi produk Level 3. Menurut Kasim (2010) data level 3 telah terkoreksi secara geometrik maupun radiometrik sehingga tidak perlu dilakukan koreksi lagi sebelum mengolah data sentinel 5P pada GEE. Hasil dari *band total column* yang berasal dari sentinel 5P tidak dapat dihitung secara akurat pada nilai *near-ground*. Akan tetapi perkiraan nilai *near ground* dapat dihitung dengan menggunakan beberapa asumsi tentang distribusi vertikal polutan dan mengetahui massa molarnya. Mayoritas dari molekul NO_2 , CO, dan SO_2 pada wilayah industri dan kota-kota metropolitan berkumpul di *troposfer*. Satuan dari hasil ekstraksi konsentrasi NO_2 adalah mol/m² sedangkan satuan dalam baku mutu udara ambien berdasarkan Peraturan pemerintah Nomor 22 tahun 2021 adalah $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Dengan demikian, perlu dilakukan konversi ke $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ agar dapat dibandingkan dengan baku mutu. Konversi satuan dapat dilihat pada persamaan 4. Perlu diingat bahwa konsentrasi yang telah ulang sebanding dengan nilai *insitu* yang biasa, namun dengan nilai yang



lebih rendah. Hal ini terjadi karena asumsi tentang distribusi vertikal polutan yang sama (Savenets, 2021).

$$C = \frac{C_{col}}{H} \times M \times A \quad (4)$$

Keterangan :

- C : Konsentrasi NO₂ (µg/Nm³);
 C_{col} : Kandungan polutan (mol/m²)
 H : Jarak lapisan dimana polutan tersebar (*troposfer*) (m)
 M : Massa molar (g/mol)
 A : Konstan, sama dengan 10⁶, konversi dari g/m³ ke µg/Nm³

2.10 Normalitas

Uji normalitas adalah suatu prosedur yang digunakan untuk mengetahui data yang berasal dari populasi apakah terdistribusi normal atau berada dalam sebaran normal. Distribusi normal adalah distribusi simetris dengan mean, median, dan modus berada di pusat. Normalitas sebaran data menjadi syarat untuk menentukan jenis statistik apa yang akan digunakan dalam analisa selanjutnya (Nuryadi et al., 2017). Uji normalitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji *Shapiro Wilk*. Uji *Shapiro Wilk* adalah salah satu pengujian untuk mengetahui sebaran data yang berdistribusi normal atau tidak. Pengujian ini dilakukan pada sampel yang terbatas yaitu sampel yang kurang dari 50 sampel agar keputusan yang dihasilkan tepat dan akurat (Mohd Razali & Bee Wah, 2011). Dasar pengambilan keputusan dalam uji *Shapiro Wilk* berdasarkan nilai signifikansi, yaitu sebagai berikut.

- 1) Nilai Sig. atau signifikansi atau nilai probabilitas < 0,05 maka distribusi adalah tidak normal
- 2) Nilai Sig. atau signifikansi atau nilai probabilitas > 0,05 maka distribusi adalah normal

2.11 Korelasi *Pearson*



Analisis korelasi merupakan analisis statistik yang dapat digunakan untuk melihat derajat hubungan antara satu dengan variabel lainnya. Adanya korelasi dan hubungan yang mendasar antara analisis korelasi dan analisis regresi

dari segi kegunaan. Analisis korelasi digunakan untuk mencari arah dan kuatnya hubungan antara dua variabel, sedangkan analisis regresi digunakan untuk memprediksi seberapa jauh perubahan nilai variabel dependen terhadap variabel independen (Purba & Purba, 2022).

Salah satu jenis analisis korelasi adalah korelasi *pearson* analisis korelasi *pearson* atau yang dikenal dengan korelasi *product moment* merupakan analisis dalam mengukur keeratan hubungan secara linier antara dua variabel yang terdistribusi normal (Maros & Juniar, 2016). Teknik analisis korelasi *pearson product moment* termasuk teknik statistika parametrik yang menggunakan data interval dan ratio. Korelasi *pearson* dikemukakan oleh *karl pearson* pada tahun 1900 (Purba & Purba, 2022).

Berdasarkan Jabnabillah & Margina (2022) dasar pengambilan keputusan pada korelasi *pearson* adalah sebagai berikut.

- a. Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka berkorelasi
- b. Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka tidak berkorelasi
- c. Jika nilai signifikansi tepat $0,05$ maka dapat membandingkan uji korelasi *pearson* dengan r tabel. Jika uji korelasi *pearson* $> r$ tabel maka berkorelasi, sedangkan jika uji korelasi *pearson* $< r$ tabel maka tidak berkorelasi.

Adapun pedoman derajat hubungan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. Pedoman Derajat Hubungan

Interval koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat kuat

Sumber: Jabnabillah & Margina (2022)

