

**SKRIPSI**

**ESTIMASI PERUBAHAN KUALITAS UDARA NO<sub>2</sub> DAN SO<sub>2</sub>  
SELAMA MUSIM PANCARoba BERDASARKAN CITRA  
SATELIT PENGINDRAAN JAUH DI KOTA MAKASSAR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MIFTA FAUZAN  
D131 20 1015**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ESTIMASI PERUBAHAN KUALITAS UDARA (NO<sub>2</sub> DAN SO<sub>2</sub>) SELAMA MUSIM PANCAROBA BERDASARKAN CITRA SATELIT PENGINDRAAN JAUH DI KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

**Mifta Fauzan**  
**D131201015**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 7 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing,



Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU.  
NIP 1958122819860112001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Mifta Fauzan  
NIM : D131201015  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Estimasi Perubahan Kualitas Udara NO<sub>2</sub> Dan SO<sub>2</sub> Selama Musim Pancaroba  
Berdasarkan Citra Satelit Pengindraan Jauh Di 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, 19 Juli 2024

Yang Menyatakan



*Mifta Fauzan*  
MSR

MIFTA FAUZAN

## ABSTRAK

**MIFTA FAUZAN.** *Estimasi Perubahan Kualitas Udara NO<sub>2</sub> Dan SO<sub>2</sub> Selama Musim Pancaroba Berdasarkan Citra Satelit Penginderaan Jauh Di Kota Makassar* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T.,IPU.)

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis, yaitu yang memiliki dua perbedaan musim, musim penghujan dan musim kemarau. Polusi atau pencemaran udara merupakan masalah yang sangat serius saat ini. Apabila udara tercemar maka akan menimbulkan banyak dampak buruk karena kualitas udara sangat berpengaruh bagi kesehatan manusia. Salah satu cara untuk mengetahui perubahan kualitas udara yakni melalui pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh sebagai bagian dari monitoring lingkungan. Citra satelit penginderaan jauh multi-spektral memiliki beberapa sensor yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan monitoring lingkungan oleh pengguna serta memiliki skala spasial dan waktu perekaman yang luas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi perubahan kualitas udara parameter Nitrogen dioksida dan Sulfur dioksida selama musim pancaroba berdasarkan citra satelit penginderaan jauh di Kota Makassar. Penelitian ini sampai pada tahap perhitungan Indeks Kualitas Udara (IKU), uji beda dan uji korelasi. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap diantaranya tahap persiapan yang merupakan persiapan beberapa data *shapefile* dan pembuatan akun di USGS, tahap pengambilan data meliputi pengunduhan data raster dan tahap pengolahan yang merupakan pengolahan nilai konsentrasi Nitrogen dioksida dan Sulfur dioksida berdasarkan data citra satelit.

Konsentrasi Nitrogen dioksida dan Sulfur dioksida berdasarkan musim di Kota Makassar yang dihasilkan dari pengolahan citra Landsat 8 dan Citra MODIS dapat mengestimasi perubahan kualitas udara berdasarkan musim hujan dan musim kemarau. Dimana konsentrasi yang diperoleh pada musim kemarau cenderung lebih tinggi dibandingkan pada musim hujan. Rentang nilai IKU hasil pengolahan citra Landsat 8 yaitu 74-82. Sementara untuk citra MODIS rentang nilai IKU yang diperoleh yaitu 72-81. Sementara uji korelasi antar satelit Landsat 8 dan Citra MODIS menggunakan korelasi Spearman-rank memiliki hubungan yang signifikan, dengan nilai signifikansi yang diperoleh yaitu 0.02 atau tidak lebih dari 0.05. Adanya korelasi antara kedua citra satelit disebabkan oleh faktor yang sama.

Kata Kunci: Landsat 8, MODIS, Indeks Kualitas Udara

## ABSTRACT

**MIFTA FAUZAN.** *Estimation of Changes in Air Quality NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> During the Transition Season Based on Remote Sensing Satellite Images in Makassar City* (Supervised by Prof. Dr. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU.)

Indonesia is a country with a tropical climate, which has two different seasons, the rainy season and the dry season. Pollution or air pollution is a very serious problem today. If the air is polluted, it will have many adverse impacts because air quality has a great influence on human health. One way to find out changes in air quality is through the use of remote sensing satellite images as part of environmental monitoring. Multi-spectral remote sensing satellite imagery has multiple sensors that can be adjusted to the user's environmental monitoring needs and has a wide spatial scale and recording time.

This study aims to estimate the changes in air quality of Nitrogen dioxide and Sulfur dioxide parameters during the pancaroba season based on remote sensing satellite images in Makassar City. This research reached the stage of calculating the Air Quality Index (IKU), differential test and correlation test. This research consists of several stages, including the preparation stage which is the preparation of several *shapefile data* and the creation of accounts in the USGS, the data collection stage includes the download of raster data and the processing stage which is the processing of Nitrogen dioxide and Sulfur dioxide concentration values based on satellite image data.

Concentrations of Nitrogen dioxide and Sulfur dioxide based on seasons in Makassar City produced from the processing of Landsat 8 and MODIS images can estimate changes in air quality based on the rainy season and dry season. Where the concentration obtained in the dry season tends to be higher than in the rainy season. The range of IKU values from Landsat 8 image processing is 74-82. Meanwhile, for the MODIS image, the range of IKU values obtained is 72-81. Meanwhile, the correlation test between the Landsat 8 satellite and the MODIS image using the Spearman-rank correlation has a significant correlation, with the significance value obtained being 0.02 or no more than 0.05. The existence of a correlation between the two satellite images is due to the same factors.

Keywords: Landsat 8, MODIS, Air Quality Index

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Ruang Lingkup.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Pencemaran Udara .....	7
2.2 Musim Pancaroba.....	9
2.3 Nitrogen Dioksida .....	12
2.4 Sulfur Dioksida .....	13
2.5 Indeks Kualitas Udara.....	14
2.6 Pengindraan Jauh .....	16
2.7 Citra Satelit Landsat.....	18
2.8 Citra Landsat 8.....	20
2.9 Citra MODIS.....	21
2.10 Algoritma Pengukuran Polutan di Udara .....	22
2.11 Koreksi <i>T-Test</i> .....	23
2.12 Korelasi Spearman-Rank .....	24
2.13 <i>Root Mean Squared Error</i> (RMSE).....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	26
3.2 Lokasi Penelitian.....	28
3.3 Data dan Peralatan.....	29
3.4 Metode Pengambilan Data .....	31
3.5 Metode Pengolahan Data .....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
4.1 Estimasi konsentrasi Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) dan Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> ) berdasarkan musim di Kota Makassar .....	40
4.2 Estimasi konsentrasi kualitas udara Kecamatan di Kota Makassar .....	63

4.3 Indeks Kualitas Udara (IKU) di Kota Makassar .....	80
4.4 Uji Statistik .....	85
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>90</b>
5.1 Kesimpulan .....	90
5.2 Saran.....	91
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>92</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Prakiraan awal musim kemarau 2023 ZOM di Provinsi Sulawesi Selatan .....	12
Gambar 2. Komponen dasar citra satelit .....	17
Gambar 3. Misi citra Landsat .....	18
Gambar 4. Citra Landsat 8 .....	20
Gambar 5. Citra MODIS .....	21
Gambar 6. Penggolongan uji-T .....	23
Gambar 7. Bagan alir penelitian .....	27
Gambar 8. Peta lokasi Kota Makassar .....	29
Gambar 9. Tampilan awal aplikasi <i>Google Earth</i> .....	30
Gambar 10. Tampilan website USGS Earth Explorer .....	30
Gambar 11. Tampilan awal aplikasi ArcMap 10.8 .....	31
Gambar 12. Tampilan awal aplikasi SPSS .....	31
Gambar 13. Metode pengambilan data citra satelit Landsat 8 .....	33
Gambar 14. Metode pengambilan data citra MODIS .....	34
Gambar 15. Pengolahan data citra satelit Landsat 8 .....	35
Gambar 16. Pengolahan data citra MODIS .....	36
Gambar 17. Metode visualisasi dan layouting peta .....	37
Gambar 18. Metode uji beda <i>T-Test</i> .....	38
Gambar 19. Metode uji korelasi Spearman-Rank .....	39
Gambar 20. Grafik Konsentrasi Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) citra Landsat 8 pada musim kemarau .....	42
Gambar 21. Sebaran konsentrasi NO <sub>2</sub> pada musim kemarau citra Landsat 8 (a) Juni 2023 (b) Juli 2023 (c) Agustus 2023 (d) September 2023 (e) Oktober 2023 (f) Mei 2024 .....	44
Gambar 22. Sebaran konsentrasi NO <sub>2</sub> pada musim kemarau citra MODIS (a) Juni 2023 (b) Juli 2023 (c) Agustus 2023 (d) September 2023 (e) Oktober 2023 (f) Mei 2024 .....	46
Gambar 23. Grafik Konsentrasi Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) citra MODIS pada musim kemarau .....	48
Gambar 24. Sebaran konsentrasi SO <sub>2</sub> pada musim kemarau citra Landsat 8 (a) Juni 2023 (b) Juli 2023 (c) Agustus 2023 (d) September 2023 (e) Oktober 2023 (f) Mei 2024 .....	49
Gambar 25. Sebaran konsentrasi SO <sub>2</sub> pada musim kemarau citra MODIS (a) Juni 2023 (b) Juli 2023 (c) Agustus 2023 (d) September 2023 (e) Oktober 2023 (f) Mei 2024 .....	51
Gambar 26. Grafik Konsentrasi Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) pada musim hujan .....	54
Gambar 27. Sebaran konsentrasi NO <sub>2</sub> pada musim hujan citra Landsat 8 (a) November 2023 (b) Desember 2023 (c) Januari 2024 (d) Februari 2024 (e) Maret 2024 (f) April 2024 .....	56
Gambar 28. Sebaran konsentrasi NO <sub>2</sub> pada musim hujan citra MODIS (a) November 2023 (b) Desember 2023 (c) Januari 2024 (d) Februari 2024 (e) Maret 2024 (f) April 2024 .....	57
Gambar 29. Grafik Konsentrasi Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> ) pada musim hujan .....	59



Gambar 30. Sebaran konsentrasi SO <sub>2</sub> pada musim hujan citra Landsat 8 (a) November 2023 (b) Desember 2023 (c) Januari 2024 (d) Februari 2024 (e) Maret 2024 (f) April 2024 .....	61
Gambar 31. Sebaran konsentrasi SO <sub>2</sub> pada musim hujan citra MODIS (a) November 2023 (b) Desember 2023 (c) Januari 2024 (d) Februari 2024 (e) Maret 2024 (f) April 2024 .....	62
Gambar 32. Peta sebaran konsentrsi NO <sub>2</sub> berdasarkan citra Landsat 8 pada musim kemarau .....	66
Gambar 33. Peta sebaran konsentrsi NO <sub>2</sub> berdasarkan citra Landsat 8 pada musim hujan .....	67
Gambar 34. Peta sebaran konsentrsi NO <sub>2</sub> berdasarkan citra MODIS pada musim kemarau .....	70
Gambar 35. Peta sebaran konsentrsi NO <sub>2</sub> berdasarkan citra MODIS pada musim Hujan .....	71
Gambar 36. Peta sebaran konsentrsi SO <sub>2</sub> berdasarkan citra Landsat 8 pada musim Hujan .....	74
Gambar 37. Peta sebaran konsentrsi SO <sub>2</sub> berdasarkan citra Landsat pada musim kemarau .....	75
Gambar 38. Peta sebaran konsentrsi SO <sub>2</sub> berdasarkan citra MODIS pada musim hujan .....	78
Gambar 39. Peta sebaran konsentrsi SO <sub>2</sub> berdasarkan citra MODIS pada musim kemarau .....	79
Gambar 40. Peta sebaran nilai Indeks Kualitas Udara dalam setahun di Kota Makassar Citra Landat 8 .....	82
Gambar 41. Peta sebaran nilai Indeks Kualitas Udara dalam setahun di Kota Makassar MODIS.....	84
Gambar 42. Grafik perubahan konsentrasi Nitrogen doksida (NO <sub>2</sub> ).....	87
Gambar 43. Grafik perubahan konsentrasi Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> ).....	87

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Prakiraan curah hujan (mm) tahun 2023 di Kota Makassar.....	11
Tabel 2. Kategori dan angka rentang Indeks Kualitas Udara (IKU).....	16
Tabel 3. Estimasi suhu rata-rata hasil pengolahan citra Landsat 8 dan MODIS pada musim kemarau.....	40
Tabel 4. Estimasi konsentrasi Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) citra Landsat 8 pada musim kemarau .....	41
Tabel 5. Estimasi konsentrasi Sulfur dioksida (NO <sub>2</sub> ) citra MODIS pada musim kemarau .....	46
Tabel 6. Estimasi suhu rata-rata hasil pengolahan citra Landsat 8 dan MODIS pada musim hujan.....	52
Tabel 7. Estimasi konsentrasi Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> ) citra Landsat 8 pada musim hujan .....	52
Tabel 8. Estimasi konsentrasi Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> ) citra Landsat 8 pada musim hujan .....	57
Tabel 9. Rekapitulasi nilai RMSE.....	62
Tabel 10. Rata-rata konsentrasi NO <sub>2</sub> Kecamatan di Kota Makassar berdasarkan citra Landsat 8 .....	63
Tabel 11. Rata-rata konsentrasi NO <sub>2</sub> Kecamatan di Kota Makassar berdasarkan citra MODIS .....	68
Tabel 12. Rata-rata konsentrasi SO <sub>2</sub> Kecamatan di Kota Makassar berdasarkan citra Landsat 8 .....	72
Tabel 13. Rata-rata konsentrasi SO <sub>2</sub> Kecamatan di Kota Makassar berdasarkan citra MODIS .....	76
Tabel 14. Indeks Kualitas Udara (IKU) citra satelit Landsat 8.....	80
Tabel 15. Indeks Kualitas Udara (IKU) citra MODIS .....	83
Tabel 16. Hasil uji normaltas .....	85
Tabel 17. Hasil uji beda T-Test.....	86
Tabel 18. Hasil uji korelasi spearman-rank.....	88

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Indeks Kualitas Udara (IKU) .....	95
Lampiran 2. Estimasi Perubahan Konsentrasi NO <sub>2</sub> berdasarkan Landsat 8.....	96
Lampiran 3. Estimasi Perubahan Konsentrasi NO <sub>2</sub> berdasarkan MODIS .....	99
Lampiran 4. Estimasi Perubahan Konsentrasi SO <sub>2</sub> berdasarkan Landsat 8 .....	102
Lampiran 5. Estimasi Perubahan Konsentrasi SO <sub>2</sub> berdasarkan MODIS .....	105

## 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 **“Estimasi Perubahan Kualitas Udara NO<sub>2</sub> Dan SO<sub>2</sub> Selama Musim Pancaroba Berdasarkan Citra Satelit Pengindraan Jauh Di Kota Makassar”**. Tak lupa juga shalawat dan salam tetap tercurahkan 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.

Terima kasih tanpa batas untuk kedua orang tua di Kampung, Bapak Nasir dan Ibu Syamsiah yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan selama ini. Tanpa kalian, saya tidak akan bisa mencapai apa yang telah saya capai sekarang. saya sangat bersyukur memiliki kalian sebagai orang tua. Mendidik dan membesarkan saya hingga pada titik ini. Dan senantiasa mendoakan apapun yang terbaik buat saya. Maaf anakmu belum sempat pulang kampung bantu-bantu pekerjaan kalian disana. Teruntuk saudra-saudara kandungku Ikhwan Arifadhil dan si Bungsu Satria. Terima kasih atas dukungan dan doa yang telah diberikan.

Dalam penyelesaian studi dan penulisan skripsi ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik pengajaran, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga 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. Ir. Hj. Sumarni Hamid Aly, M.T., IPU. ASEAN.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan, dan meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir.
6. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik atas didikan, bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan selama penulis menempuh Pendidikan di Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf S1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati, A.S., Pak Ruslan. L, S. Ap., dan Kak Nisha Dwi Utama, S.IP.
8. Kepada Tetta Ikbal, Kumis, Tantarayya, Pak Ketua Fito, Palli Rahman, terima kasih saudaraku sebagai teman alumni yang telah menemani penulis untuk berbagi rasa penderitaan.
9. KKNT 110 Bontokanang yang telah mewarnai masa-masa KKN di Bontokanang. Banyak cerita bagi penulis haram untuk dilupakan selama masa KKN.
10. Untuk saudara Kevin, Fitri, dan Niko terima kasih telah menemani penulis dalam berbagi cerita pengalaman yang dapat membuat penulis merasa lega.
11. Lakopi group Fauzan, Hajar, Rahma yang telah menenami dalam menyelesaikan tugas ini.

12. 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.
13. Terakhir untuk penulis sendiri, terima kasih sudah memberikan yang terbaik memberkarena yang dapat merasakan kita adalah hanya diri kita sendiri  
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. Terakhir, harapan Penulis, semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Gowa, 19 Juli 2024  
Penulis,

Mifta Fauzan

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perubahan iklim merupakan perubahan jangka panjang dalam distribusi pola cuaca secara statistik dengan periode waktu mulai dasawarsa hingga jutaan tahun. Hal ini bisa juga berarti bahwa perubahan keadaan cuaca rata-rata atau perubahan distribusi peristiwa cuaca rata-rata merupakan jumlah peristiwa cuaca ekstrem yang semakin banyak atau semakin sedikit. Perubahan iklim dapat terjadi pada daerah terbatas hingga regional tertentu atau dapat terjadi di seluruh wilayah Bumi. (Putra, 2016)

Indonesia merupakan salah satu negara yang dilewati garis khatulistiwa dari sekian banyak negara yang ada di dunia ini. Karena atas dasar itulah Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis, yaitu yang memiliki dua perbedaan musim, musim penghujan dan musim kemarau. Periode musim kemarau dan musim hujan yang biasanya terjadi pada waktu tertentu sekerang sudah tidak menentu. Hal ini tentunya akan membawa efek pada pertanian, perkebunan dan pelayaran dan sebagainya. Kondisi cuaca yang mengalami perubahan ini juga berakibat pada bencana yang ditimbulkan seperti banjir akibat curah hujan yang tinggi dan kemarau yang berkepanjangan yang dapat menimbulkan kerugian materi serta infrastruktur. (Putra, 2016)

Udara merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi semua makhluk hidup yang ada di bumi. Tanpa adanya udara, makhluk hidup tidak akan bisa bertahan hidup lama bahkan hanya beberapa menit saja. Hal ini karena udara yang ada di bumi ini mengandung gas-gas yang dibutuhkan untuk keberlangsungan hidup. Polusi atau pencemaran udara merupakan masalah yang sangat serius saat ini. Apabila udara tercemar maka akan menimbulkan banyak dampak buruk karena kualitas udara sangat berpengaruh bagi kesehatan manusia. Kendaraan bermotor yang semakin banyak menggunakan bahan bakar akan berpotensi menyebabkan pencemaran udara. Dalam hal ini berarti transportasi merupakan faktor utama pencemaran udara, dimana transportasi menyumbang sekitar 60-80% pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor.

BPLH DKI Jakarta (dalam Yunita & Kiswandono, 2017) menyatakan bahwa udara merupakan faktor yang penting dalam hidup dan kehidupan. Namun, sejalan dengan perkembangan pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, serta berkembangnya transportasi menyebabkan kualitas udara mengalami perubahan karena terjadinya pencemaran udara. Pencemaran udara yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara dalam jumlah tertentu untuk jangka waktu yang cukup lama, sehingga dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tanaman.

Daerah perkotaan merupakan salah satu sumber pencemaran udara utama, yang sangat besar peranannya dalam masalah pencemaran udara. Kegiatan perkotaan yang meliputi kegiatan sektor-sektor permukiman, transportasi, komersial, industri, pengelolaan limbah padat, dan sektor penunjang lainnya merupakan kegiatan yang potensial dalam merubah kualitas udara perkotaan. Pembangunan fisik kota dan berdirinya pusat-pusat industri disertai dengan melonjaknya produksi kendaraan bermotor, mengakibatkan peningkatan kepadatan lalu lintas dan hasil produksi sampingan, yang merupakan salah satu sumber pencemaran udara.

Salah satu masalah lingkungan yang sering terjadi di kota besar adalah pencemaran udara. Partikel pencemar termasuk partikel tersuspensi total/partikel tersuspensi total (TSP) dengan diameter hingga 100  $\mu\text{m}$ , partikel kurang dari 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), dan partikel kurang dari 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ). Gas pencemar lainnya termasuk sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), dan ozon permukaan ( $\text{O}_3$ ) (Rita, 2016).

Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) adalah senyawa gas di atmosfer yang sebagian besar terdiri atas nitrit oksida ( $\text{NO}$ ) dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Pengaruh negatif  $\text{NO}_2$  terhadap kesehatan manusia adalah menurunnya fungsi paru-paru dan meningkatnya risiko kanker (Hamra et al., 2015; WHO, 2013). Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) juga merupakan salah satu prekursor pembentuk polutan sekunder berupa ozon. Secara alami,  $\text{NO}_2$  mengalami siklus fotolitik dengan bantuan matahari membentuk  $\text{O}_3$  dan sebaliknya. Siklus fotolitik tersebut dapat mengalami gangguan akibat adanya senyawa hidrokarbon yang bereaksi dengan sehingga kadar  $\text{O}_3$



meningkat pada lapisan troposfer. Berbeda dengan ozon yang berada di lapisan stratosfer (antara 15 dan 30 km di atas permukaan bumi) yang dikenal sebagai lapisan ozon yang berperan untuk menyerap sinar ultraviolet dari matahari, ozon di lapisan troposfer merupakan gas pencemar beracun yang berdampak buruk bagi makhluk hidup. Menurut Pujaardana (2016) Sumber utama nitrogen dioksida yang dihasilkan dari aktivitas manusia adalah pembakaran bahan bakar fosil (batubara, gas dan minyak) terutama bahan bakar yang digunakan pada kendaraan. Itu juga dihasilkan dari pembuatan asam nitrat, pengelasan dan penggunaan bahan peledak, pemurnian bensin dan logam, manufaktur komersial, dan manufaktur makanan.

Menurut Krzyzanowski (2012) dalam Maharini (2017), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) adalah gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit listrik, fasilitas industri, serta pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak seperti lokomotif, kapal, kendaraan, peralatan lainnya serta pembakaran rumah tangga. Emisi dari kegiatan industri, dan interaksinya dengan meteorologi dan topografi, mengakibatkan variasi dispersi atmosfer yang dapat meningkatkan konsentrasi pencemaran udara. Gas tersebut akan bertemu dengan oksigen yang ada di udara dan kemudian membentuk gas  $\text{SO}_2$ . Kedua gas pencemar tersebut, baik  $\text{NO}_2$  maupun  $\text{SO}_2$  memberikan dampak negatif terutama pada saluran pernapasan sebab masuk melalui proses inhalasi.

Salah satu tempat yang memiliki peranan penting terhadap pencemaran udara baik gas polutan  $\text{NO}_2$  atau  $\text{SO}_2$  adalah wilayah Kota Makassar. Makassar merupakan kota dengan tingkat kemajuan yang cukup pesat dalam berbagai bidang, salah satunya di bidang transportasi. Dampak dari majunya industri transportasi sendiri adalah jumlah kendaraan yang terus bertambah setiap tahunnya, yang menyebabkan padatnya kendaraan dan juga bertambahnya polusi udara. Berdasarkan data dari Samsat Kota Makassar, pada tahun 2023 tercatat ada 1.997.704 unit kendaraan. Hal ini menyebabkan besarnya kemungkinan risiko pajanan polutan udara ambien  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$  pada masyarakat sekitar yang tinggal di Kota Makassar.

Salah satu cara untuk mengetahui perubahan kualitas udara yakni melalui pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh sebagai bagian dari monitoring lingkungan. Citra satelit penginderaan jauh multi-spektral memiliki beberapa

sensor yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan monitoring lingkungan oleh pengguna serta memiliki skala spasial dan waktu perekaman yang luas (Nguyen et al., 2015) Estimasi beberapa indikator kualitas udara melalui pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh yang meliputi suhu, kelembapan udara,  $PM_{2.5}$ , dan  $PM_{10}$  (Martin, 2008; Matharaarachchi et al., 2016; Nguyen et al., 2015). Bahkan dapat pula untuk mengamati perubahan konsentrasi gas rumah kaca seperti CO,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $O_3$ , dan black particulates (BP) (Wald et al., 1998). Citra satelit penginderaan jauh yang lazim dimanfaatkan untuk monitoring perubahan kualitas udara yakni MODIS, Landsat, dan Sentinel. Menurut Lin et al. (2019, citra satelit penginderaan jauh bukan hanya mampu memberikan informasi terkait perubahan kualitas udara, melainkan menyajikan variasi spasial-temporal yang dapat dipadukan dengan data pengukuran. Penelitian ekstraksi konsentrasi  $NO_2$  dan  $SO_2$  menggunakan citra satelit Landsat Series telah dilakukan oleh dan (Dede M, et al., 2020) di PLTU Cirebon dan (Septiana D, et al, 2023) di Kecamatan Mijen, Jawa Tengah.

Pada penelitian Dede et al. (2020) memanfaatkan beberapa algoritma untuk mendeteksi zat pencemar udara seperti  $PM_{10}$ , CO,  $NO_x$ , dan  $SO_2$ . Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan data citra Landsat series (Landsat 7 dan Landsat 8) dengan citra satelit MODIS dan Sentinel 2. Hasil penelitian menunjukkan citra satelit penginderaan jauh seperti Landsat-8 OLI dan Landsat-7 ETM mampu mengestimasi perubahan kualitas udara di sekitar PLTU Cirebon, asalkan tetap divalidasi oleh instrumen lain misalnya dengan citra satelit Sentinel-2 MSS, serta MODIS. Pada penelitian Septiana et al. (2023) dengan pemantauan kualitas udara ISPU menggunakan citra landsat 8 dan 9 untuk kecamatan mijen selama pandemi covid-19. Hasil penelitian menunjukkan pola dispersi sebaran acak dan pola mengelompok untuk masing-masing konsentrasi yang diteliti. Adapun untuk kategori ISPU masing-masing parameter adalah  $PM_{10}$  dengan kategori “baik”,  $SO_2$  dengan kategori “sedang” dan  $NO_2$  dengan kategori “sedang”.

Penelitian-penelitian sebelumnya mempertimbangkan periode dan peristiwa-peristiwa tertentu dalam mengestimasi perubahan kualitas udara menggunakan citra satelit. Musim pancaroba merupakan peralihan musim kemarau ke musim hujan atau sebaliknya. Beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan musim seperti perubahan iklim, pola angin dan data meteorologi lainnya. Akhir tahun 2023

di Kota Makassar mengalami perubahan dari musim kemarau ke musim hujan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian berdasarkan periode perubahan musim kemarau ke musim hujan untuk menentukan perubahan kualitas udara yang ada di Kota Makassar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan ekstraksi konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$  pada Kota Makassar. Ekstraksi konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$  dilakukan dengan memanfaatkan citra satelit Landsat 8 dan Citra satelit MODIS sebagai pembanding. Dari hasil konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$  yang didapatkan, kemudian dilakukan perbandingan kategori Indeks Kualitas Udara (IKU).

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Berapa besar estimasi perubahan konsentrasi Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) berdasarkan citra satelit Landsat 8 dan citra MODIS pada musim kemarau dan musim hujan.
2. Berapa besar estimasi konsentrasi Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) Kecamatan di Kota Makassar berdasarkan citra satelit Landsat 8 dan citra MODIS.
3. Bagaimana kategori Indeks Kualitas Udara (IKU) di Kota Makassar berdasarkan citra satelit penginderaan jauh.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis estimasi perubahan konsentrasi Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) berdasarkan citra satelit Landsat 8 dan citra MODIS pada musim kemarau dan musim hujan.
2. Menganalisis estimasi konsentrasi Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) Kecamatan di Kota Makassar berdasarkan citra satelit Landsat 8 dan citra MODIS.
3. Menganalisis kategori Indeks Kualitas Udara (IKU) di Kota Makassar berdasarkan citra satelit penginderaan jauh.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis  
Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapat gelar ST (Sarjana Teknik) di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi Universitas  
Dapat dijadikan sebagai referensi untuk generasi-generasi selanjutnya yang ada di Departemen Teknik Lingkungan khususnya yang mengambil konsentrasi di bidang Kualitas Udara maupun sejenisnya dalam pengerjaan pembuatan laporan praktikum, pengerjaan tugas, atau dalam tahap penyusunan tugas akhir.
3. Bagi Masyarakat  
Memberikan pengetahuan dan kepada masyarakat terhadap perubahan kualitas udara berdsakaan pergantian musim di Kota Makassar.

## 1.5 Ruang Lingkup

Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter yang diteliti adalah Nitrogen dioksida dan Sulfur dioksida di Kota Makassar berdasarkan citra satelit.
2. Pengambilan data raster citra Landsat 8 dan citra MODIS di USGS (*United States Geological Survey*) melalui link <https://earthexplorer.usgs.gov/>
3. Penelitian ini berdasarkan perubahan musim di Kota Makassar dimana pengambilan data raster untuk musim kemarau di bulan Juni-Oktober 2023 dan Mei 2024. Sementara untuk musim hujan di bulan Desember 2023 – April 2024.
4. Estimasi konsentrasi NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> berdasarkan citra Landsat 8 dan citra MODIS.
5. Penelitian ini sampai pada tahap validasi IKU antara data citra satelit pengindraan jauh.
6. Penggunaan algoritma ekstraksi Nitrogen dioksida dan Sulfur dioksida berdasarkan sumber yang digunakan.
7. Penelitian ini menggunakan data AQMS (*Air Quality Monitoring System*) untuk dilakukan uji RMSE (*Root Mean Squared Error*).

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pencemaran Udara**

Pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik atau kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai sejumlah tertentu sehingga dapat dideteksi oleh manusia (atau yang dapat dihitung dan diukur) serta dapat memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi, dan material. Pengertian lain dari pencemaran udara adalah terdapat bahan kontaminan di atmosfer karena ulah manusia (*man mader*). Selain, itu pencemaran udara dapat pula dikatakan sebagai perubahan atmosfer karena masuknya bahan kontaminan alami atau buatan ke dalam atmosfer tersebut. (Riyaldi, 2019)

Pencemaran udara adalah suatu kondisi dimana kualitas udara menjadi rusak dan terkontaminasi oleh zat-zat, baik yang tidak berbahaya maupun yang membahayakan kesehatan tubuh manusia. Pencemaran udara biasanya terjadi di kota-kota besar dan juga daerah padat industri yang menghasilkan gas-gas yang mengandung zat di atas batas kewajaran. (Faradilah, 2018)

Menurut Mrida (dalam Romansyah, 2019), polusi udara adalah partikel tidak terlihat yang terdapat di udara dimana tidak termasuk dalam bagian dari komposisi udara yang normal. Polusi Udara yang disebabkan oleh gunung berapi, kebakaran hutan, dan lain-lain yang akan selalu eksis sebagai proses alamiah. Polutan alami diproduksi dengan jumlah yang besar, terdispersi di area yang luas, dan kebanyakan tidak begitu berbahaya dibandingkan dengan polutan hasil dari aktivitas manusia. Polusi Udara buatan ini tidak mengenal batas negara, kebanyakan bersumber dari peningkatan penggunaan bahan bakar yang besar untuk menghasilkan listrik (*power plant*), mobil, truk, dan sarana angkut lainnya serta untuk aktivitas industri.

Menurut PP RI No. 22 Tahun 2021 Pencemaran Udara adalah masuk atau dmasukannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam Udara Ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan. Tidak hanya sebagian dari polutan ini yang sangat berbahaya, tetapi juga mereka cenderung terpusat di wilayah urban dimana orang-orang banyak bermukim.

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 emisi 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 Kementerian Lingkungan Hidup sumber pencemar udara terdiri atas sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Sumber bergerak adalah sumber yang dapat bergerak atau berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Sumber tidak bergerak adalah sumber yang statis (diam) di suatu tempat. Dalam inventarisasi emisi, kategori sumber yang digunakan adalah: sumber titik, area, dan bergerak. Sumber tidak bergerak diwakili oleh sumber titik dan sumber area. Sumber bergerak diwakili oleh sumber bergerak di jalan raya (*on-road*) dan di bukan jalan raya (*non-road*).

#### 1. Sumber titik

Sumber titik adalah sumber individu yang tidak bergerak. Suatu sumber dikategorikan sebagai sumber titik apabila sumber tersebut mengemisikan pencemar di atas ambang batas yang ditetapkan dalam inventarisasi. Ambang batas tersebut bisa didasarkan pada potensi emisinya, jenis sumber, atau toksisitas pencemar. Misalnya, ditetapkan bahwa sumber yang mengemisikan pencemar udara kriteria sebesar 10 ton per tahun dikategorikan sebagai sumber titik. Tipikal sumber titik adalah industri manufaktur atau pabrik produksi yang memiliki cerobong. Di dalam suatu sumber titik, bisa terdapat beberapa unit pembakaran/boiler atau beberapa unit proses. Untuk kota-kota sedang dan kecil, sumber titik ini selain industri manufaktur (skala besar), dapat pula mencakup insinerator di rumah sakit, boiler di hotel, krematorium, dan industri-industri skala menengah dan kecil.

## 2. Sumber Area

Sumber area adalah sumber yang secara individu tidak memenuhi kualifikasi sebagai sumber titik. Sumber area mewakili berbagai kegiatan individu yang mengeluarkan sejumlah kecil pencemar, namun secara kolektif kontribusi emisinya menjadi signifikan. Misalnya, satu tungku pembakaran di industri rumah tangga di dalam wilayah inventarisasi tidak memenuhi kualifikasi sebagai sumber titik, namun secara kolektif emisi dari sejumlah fasilitas yang sama di wilayah tersebut akan signifikan sehingga sejumlah fasilitas tersebut harus diinventarisir sebagai sumber area. Yang termasuk sumber area diantaranya adalah kegiatan memasak di rumah tangga, stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU), lokasi konstruksi, bengkel cat, terminal bis, klenteng, dan sejenisnya.

## 3. Sumber Bergerak

Sumber bergerak terbagi menjadi dua, yaitu sumber bergerak di jalan raya (*on-road*), seperti mobil, truk, bus, sepeda motor; dan bukan di jalan raya (*non-road*) seperti pesawat terbang, kapal laut, kereta api, peralatan pertanian dan konstruksi, dan mesin pemotong rumput. Lebih lanjut, sumber bergerak *on-road* dan *non-road* juga dapat diwakili oleh sumber bergerak garis dan sumber bergerak area. Sumber bergerak garis adalah sumber bergerak (di jalan raya atau bukan di jalan raya) yang emisinya secara individu maupun kolektif membentuk “garis” sepanjang ruas jalan atau jalur non-jalan di wilayah inventarisasi. Untuk mengetahui emisi sumber bergerak garis, diperlukan data aktivitas kendaraan/moda transportasi pada ruas atau jalur tersebut, misalnya volume kendaraan per hari atau jarak tempuh kereta api per hari. Apabila data aktivitas pada ruas jalan atau jalur non-jalan tidak diketahui, maka sumber bergerak dikategorikan sebagai sumber bergerak area, yaitu bahwa emisi kendaraan secara kolektif membentuk suatu area di wilayah inventarisasi.

## 2.2 Musim Pancaroba

Di Indonesia sendiri memiliki iklim sub-tropis yang hanya memiliki 2 musim, yaitu musim panas dan musim hujan. Saat pergantian musim panas ke musim hujan atau yang bisa disebut juga pancaroba. Pancaroba adalah masa peralihan antara dua musim utama di daerah iklim muson, yaitu antara musim penghujan dan musim

kemarau. Kondisi topografi wilayah Indonesia yang merupakan daerah pegunungan, berlembah, banyak pantai, merupakan faktor lokal yang dapat menambah beragamnya kondisi iklim di wilayah Indonesia, baik menurut ruang (wilayah) maupun waktu, yang menyebabkan wilayah Indonesia terbagi menjadi beberapa tipe zona musim. Terkait kondisi tersebut, dalam penyampaian informasi prakiraan musim baik musim hujan dan musim kemarau, informasi yang disampaikan berbasis zona musim. Zona musim yang saat ini digunakan merupakan hasil analisis data normal periode 1991-2020. Informasi prakiraan musim secara umum memiliki empat informasi penting meliputi awal musim, perbandingan terhadap normal, sifat hujan pada musim tersebut, dan puncak musim.

Menurut BMKG Penentuan awal musim, baik musim hujan maupun musim kemarau didasarkan pada jumlah curah hujan yang dihitung per dasarian, dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Awal Musim Kemarau, ditetapkan berdasar jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) kurang dari 50 milimeter dan diikuti oleh 2 (dua) dasarian berikutnya atau total ketiganya kurang dari 150 mm (syarat curah hujan dasarian pertama harus kurang dari 50 mm per dasarian). Permulaan musim kemarau, bisa terjadi lebih awal (maju), sama, atau lebih lambat (mundur) dari normal (Normal Curah Hujan 1991-2020).
2. Awal Musim Hujan, ditetapkan berdasar jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) sama atau lebih dari 50 milimeter dan diikuti oleh 2 (dua) dasarian berikutnya atau total ketiganya lebih atau sama dengan 150 mm (syarat curah hujan dasarian pertama harus lebih besar atau sama dengan 50 mm per dasarian). Permulaan musim hujan, bisa terjadi lebih awal (maju), sama, atau lebih lambat (mundur) dari normal (Normal Curah Hujan 1991-2020).
3. Dasarian adalah rentang waktu selama 10 (sepuluh) hari. Dalam satu bulan dibagi menjadi 3 (tiga) dasarian, yaitu :
  - a. Dasarian I : tanggal 1 sampai dengan 10.
  - b. Dasarian II : tanggal 11 sampai dengan 20.
  - c. Dasarian III : tanggal 21 sampai dengan akhir bulan.

Di Kota Makassar prakiraan musim kemarau di tahun 2023 terjadi di awal bulan mei dengan curah hujan (Code: 558\_SULSEL\_06) dapat dilihat pada tabel berikut:



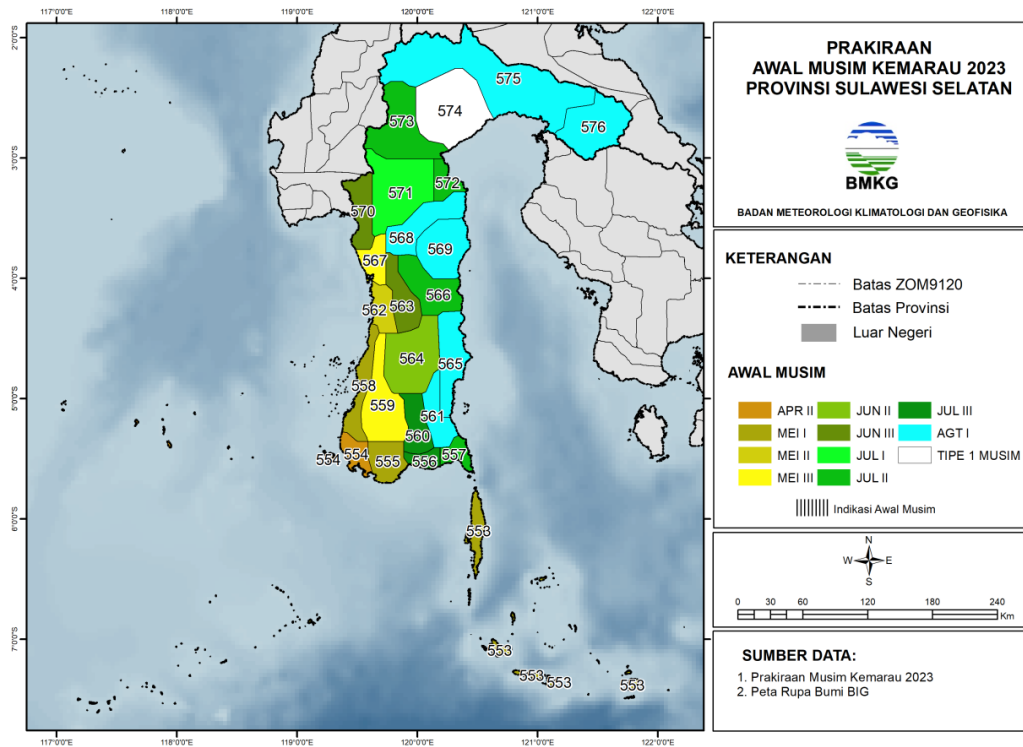
Tabel 1. Prakiraan curah hujan (mm) tahun 2023 di Kota Makassar

Bulan	Curah Hujan (mm) dalam Dasarian		
	I	II	III
Januari	324	76	300
Februari	249	228	158
Maret	139	123	132
April	88	77	69
Mei	39	31	27
Juni	26	30	19
Juli	18	15	8
Agustus	1	1	2
September	10	6	9
Oktober	50	46	37
November	21	66	89
Desember	95	146	225

Sumber : BMKG, 2023

Pada tabel prakiraan curah hujan di Kota Makassar dapat dilihat bahwa di kota makassar terjadi musim kemarau pada awal bulan mei dengan besar curah hujan per dasarian kurang dari 50 mm dan jumlah ketiga dasarian di bulan tersebut menunjukkan besar curah hujan kurang dari 150 mm. Sama halnya pada tahun 2024 prakiraan musim kemarau di kota makassar terjadi di awal bulan Mei. (BMKG, 2023)

Adapun peta sebaran prakiraan musim kemarau di Sulawesi Selatan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Prakiraan awal musim kemarau 2023 ZOM di Provinsi Sulawesi Selatan

### 2.3 Nitrogen Dioksida

Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) adalah senyawa gas di atmosfer yang sebagian besar terdiri atas nitrit oksida ( $\text{NO}$ ) dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Pengaruh negatif  $\text{NO}_2$  terhadap kesehatan manusia adalah menurunnya fungsi paru-paru dan meningkatnya risiko kanker. (Dwirahmawati, 2018)

Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) juga merupakan salah satu prekursor pembentuk polutan sekunder berupa ozon. Secara alami,  $\text{NO}_2$  mengalami siklus fotolitik dengan bantuan matahari membentuk  $\text{O}_3$  dan sebaliknya. Siklus fotolitik tersebut dapat mengalami gangguan akibat adanya senyawa hidrokarbon yang bereaksi dengan  $\text{NO}$  sehingga kadar  $\text{O}_3$  meningkat pada lapisan troposfer. Berbeda dengan ozon yang berada di lapisan stratosfer (antara 15 dan 30 km di atas permukaan bumi) yang dikenal sebagai lapisan ozon yang berperan untuk menyerap sinar ultraviolet dari matahari, ozon di lapisan troposfer merupakan gas pencemar beracun yang berdampak buruk bagi makhluk hidup (Dwirahmawati, 2018).

Gas NO<sub>2</sub> memiliki karakteristik bau tajam, berwarna coklat kemerahan dan berwarna kuning di bawah suhu 21,2°C. Dan memiliki dampak terhadap kesehatan seperti penurunan fungsi paru, sesak napas, bahkan menyebabkan kematian. NO<sub>2</sub> dihasilkan dari pembakaran bahan bakar bensin, pembakaran sampah, dan industri batu bara dari aktivitas manusia. Gas NO<sub>2</sub> memiliki kelarutan yang rendah dalam air dan larut dalam larutan alkali. NO<sub>2</sub> merangsang terjadinya sesak napas dan berbahaya bagi sistem pernapasan manusia (Dani, 2019).

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 NO<sub>2</sub> dilakukan menggunakan metode Griess-Saltzman menggunakan alat spektrofotometer.

Berdasarkan SNI 19-7119.2-2017 prinsip pengukuran kualitas udara untuk parameter NO<sub>2</sub> 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.

## 2.4 Sulfur Dioksida

Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) adalah komponen pencemar udara dengan jumlah paling banyak. Gas ini memiliki karakteristik tidak berwarna dan berbau tajam, apabila bereaksi dengan uap air di udara akan menjadi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atau dikenal sebagai hujan asam yang dapat menimbulkan kerusakan baik material, benda, maupun tanaman (Suyono, 2014). Dampak negatif dari bahan pencemar tersebut pada manusia ialah iritasi saluran pernapasan dan penurunan fungsi paru dengan gejala batuk, sesak napas, dan meningkatkan penyakit asma (Muziansyah, et al., 2015). Berdasarkan informasi *Material Safety Data Sheet*, pajanan gas SO<sub>2</sub> dapat menyebabkan iritasi mata, hidung, tenggorokan, sinus, edema paru, bahkan berujung pada kematian (Sulfur dioxide MSDS, 2016). Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dihasilkan terutama dari pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung belerang, seperti batu bara

dan minyak (misalnya batu bara yang dibakar di perapian rumah untuk pemanas dan kendaraan bertenaga diesel).

Tingginya kadar  $\text{SO}_2$  di udara merupakan salah satu penyebab terjadinya hujan asam. Hujan asam disebabkan oleh belerang (sulfur) yang merupakan pengotor dalam bahan bakar fosil serta nitrogen di udara yang bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida dan nitrogen oksida. Zat-zat ini berdifusi ke atmosfer dan bereaksi dengan air untuk membentuk asam sulfat dan asam nitrat yang mudah larut sehingga jatuh bersama air hujan. Air hujan yang asam tersebut akan meningkatkan kadar keasaman tanah dan air permukaan yang terbukti berbahaya bagi kehidupan ikan dan tanaman.

Kelebihan zat asam pada danau akan mengakibatkan sedikitnya species yang bertahan. Jenis Plankton dan invertebrate merupakan makhluk yang paling pertama mati akibat pengaruh pengasaman. Apa yang terjadi jika didanau memiliki pH dibawah 5, lebih dari 75 % dari spesies ikan akan hilang (Anonim, 2002). Ini disebabkan oleh pengaruh rantai makanan, yang secara signifikan berdampak pada keberlangsungan suatu ekosistem. Tidak semua danau yang terkena hujan asam akan menjadi pengasaman, dimana telah ditemukan jenis batuan dan tanah yang dapat membantu menetralkan keasaman. Selain menyebabkan hujan asam,  $\text{SO}_2$  juga dapat mengurangi jarak pandang karena gas maupun partikel  $\text{SO}_2$  mampu menyerap cahaya sehingga menimbulkan kabut

Pada musim kemarau, bukan berarti tidak pernah terjadi reduksi  $\text{SO}_2$ , karena reduksi  $\text{SO}_2$  akan berjalan setiap saat. Hanya saja, emisi yang dihasilkan dari kegiatan manusia dan interaksi konsentrasi tersebut dengan meteorologi akan menghasilkan emisi yang lebih besar dibandingkan dengan reduksi. Sedangkan, pada musim hujan, konsentrasi  $\text{SO}_2$  lebih kecil sehingga lebih banyak yang mampu direduksi. (Maharini, 2017)

## **2.5 Indeks Kualitas Udara**

Menurut Permen LHK No. 27 Tahun 2021 Indeks Kualitas Udara yang selanjutnya disingkat IKU adalah ukuran yang menggambarkan kualitas udara yang merupakan nilai komposit parameter kualitas udara dalam suatu wilayah pada waktu tertentu. Sementara menurut Nusriyono (2022) Indeks Kualitas Udara (IKU)

adalah ukuran standar kualitas udara yang digunakan untuk menyatakan tingkat risiko kesehatan yang terkait dengan polusi udara partikulat dan gas. Semakin tinggi nilai IKU, semakin buruk kondisi udara di wilayah tersebut.

Perhitungan IKU Kabupaten/Kota dan Provinsi dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Melakukan perhitungan rata-rata masing-masing parameter Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ), dan Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dari tiap periode pemantauan untuk masing-masing lokasi sampling sehingga didapat data rata-rata untuk area transportasi, industri, pemukiman/perumahan, dan perkantoran;
2. Melakukan perhitungan rata-rata parameter Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) untuk masing-masing kabupaten/kota sehingga menghasilkan nilai kualitas udara ambien rata rata tahunan kabupaten/kota;
3. Melakukan perhitungan rata-rata parameter Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) untuk provinsi yang merupakan perhitungan rata-rata nilai kualitas udara ambien rata rata tahunan kabupaten/kota.
4. Melakukan perbandingan nilai rata-rata Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) provinsi atau nilai rata-rata Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) kabupaten/kota dengan baku mutu udara ambien Referensi EU untuk mendapatkan Indeks Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Indeks Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ). Rata-rata Indeks Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) menghasilkan Index Udara model EU (IEU) atau indeks antara sebelum dikonversikan ke Indeks Kualitas Udara IKU.
5. Indeks Udara model EU (IEU) dikonversikan menjadi indeks IKU melalui persamaan sebagai berikut:

$$IKU = 100 - \left( \frac{50}{0,9} (I_{EU} - 0,1) \right) \quad (1)$$

$$I_{EU} = \frac{\text{Indeks } \text{NO}_2 + \text{Indeks } \text{SO}_2}{2} \quad (2)$$

$$\text{Indeks } \text{NO}_2 = \frac{\text{Rata-rata } \text{NO}_2}{\text{Baku mutu EU}} \quad (3)$$

$$\text{Indeks } \text{SO}_2 = \frac{\text{Rata-rata } \text{SO}_2}{\text{Baku mutu EU}} \quad (4)$$

Kategori dan angka rentang Indeks Kualitas Udara (IKU) dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. Kategori dan angka rentang Indeks Kualitas Udara (IKU)

Nomor	Kategori	Angka rentang
1	Sangat Baik	$90 \leq x \leq 100$
2	Baik	$70 \leq x < 90$
3	Sedang	$50 \leq x < 70$
4	Kurang	$25 \leq x < 50$
5	Sangat Kurang	$0 \leq x < 25$

Sumber : Permen LHK, 2021

## 2.6 Pengindraan Jauh

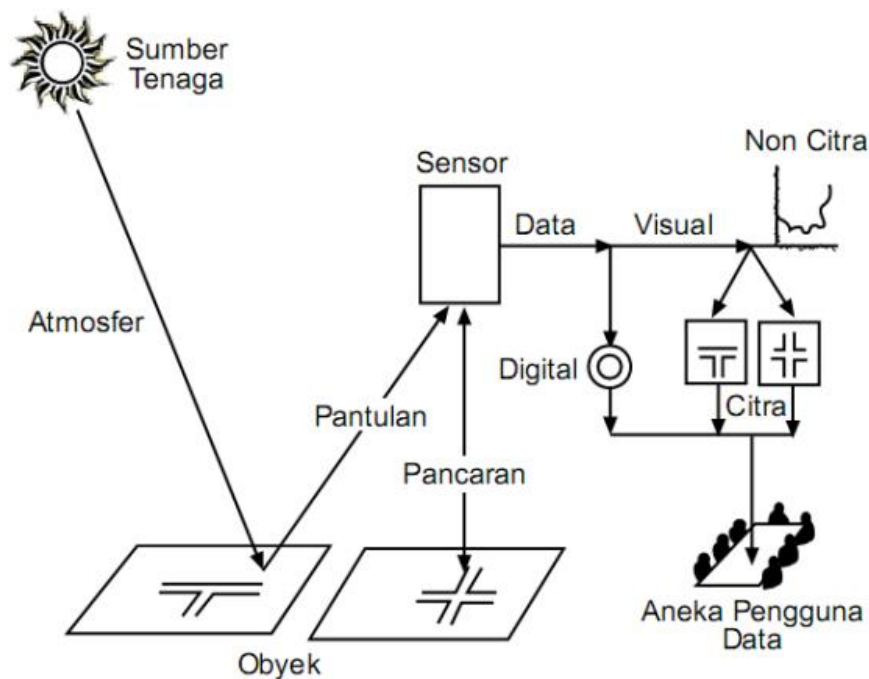
Lillesand dan Kiefer (2004) menjelaskan pengertian pengindraan jauh adalah ilmu dan seni yang dipergunakan untuk memperoleh informasi tentang suatu objek atau fenomena dengan alat, tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena tersebut. Alat yang dimaksud adalah alat pengindra atau sensor yang dipasang pada wahana, biasanya berupa balon udara, pesawat terbang, pesawat bolak-balik, atau satelit. Sedangkan Lindgren (1985) dalam Muhsoni (2015) penginderaan jauh didefinisikan sebagai suatu teknik yang dikembangkan untuk memperoleh dan melakukan analisis tentang informasi bumi, informasi tersebut khusus berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi.

Lillesand and Kieffer (2004) dalam Muhsoni (2015) menjelaskan untuk mengkaji suatu obyek, daerah atau fenomena yang diteliti melalui pengindraan jauh dapat dilakukan dari data digital maupun visual. Interpretasi gisual data dengan menggunakan kemampuan berpikir untuk melakukan evaluasi spasial secara subjektif terhadap unsur-unsur selektif daerah kajian. Tetapi analisis ini sangat dipengaruhi keterbatasan kemampuan mata manusia untuk memisahkan nilai rona pada citra. Sedangkan data digital merupakan hasil rekaman citra dalam bentuk numerik. Dengan berkembangnya teknologi komputer yang semakin pesat, maka akses berbagai kelompok atau akademisi ke otomatis pengolahan citra digital pun semakin besar.

Pengindraan jauh merupakan pengukuran atau perolehan informasi dari beberapa sifat objek atau fenomena, dengan menggunakan alat perekam yang secara fisik tidak terjadi kontak langsung dengan objek atau fenomena yang dikaji

(Lillesland et al, 2007). Contoh dari penginderaan jauh antara lain satelit pengamatan bumi, satelit cuaca dengan gelombang elektromagnetik dan wahana luar angkasa yang memantau bumi dari orbit (Lillesland et al, 2007 dalam Herwanda, 2016).

Komponen dasar dalam sistem penginderaan jauh adalah sumber energi, atmosfer, interaksi yang unik antara tenaga dengan benda dimuka bumi, sensor, sistem pengolahan data yang tepat waktu dan berbagai penggunaan data. Gambar sistem penginderaan jauh dapat dilihat pada gambar 1. Energi berinteraksi dengan benda dan sekaligus berfungsi sebagai media untuk meneruskan informasi dari benda ke sensor. Sensor adalah sebuah alat yang mengumpulkan dan mencatat radiasi elektromagnetik. Setelah dicatat, data dikirimkan ke stasiun penerima dan diproses menjadi format yang siap pakai, diantaranya berupa citra dan digunakan oleh pemakai.



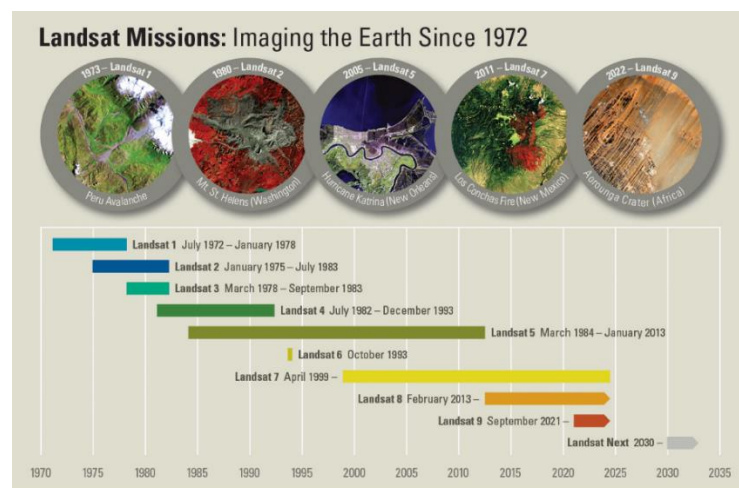
Gambar 2. Komponen dasar citra satelit

Tenaga yang digunakan dalam penginderaan jauh adalah tenaga elektromagnetik. Tenaga elektromagnetik adalah paket elektrisitas dan magnetisme yang bergerak dengan kecepatan sinar pada frekuensi dan anjang gelombang tertentu, dengan sejumlah tenaga tertentu (Sutanto, 1994).

Berdasarkan pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh adalah teknik dan ilmu untuk memperoleh data dan informasi permukaan bumi dengan menggunakan alat yang tidak langsung berhubungan dengan objek atau benda yang dikaji. Contoh : pemotretan bumi dari udara, foto udara, satelit, dan gantole. Penginderaan jauh memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik atau spektrum energi lain, serta mempunyai empat komponen yang penting, yaitu sumber radiasi, objek, atmosfer, koreksi dan sensor.

## 2.7 Citra Satelit Landsat

Citra satelit landsat adalah salah satu citra satelit sumberdaya alam yang mempunyai resolusi spasial 30 m x 30 meter (kecuali satran inframerah thermal), dan merekam dalam 7 saluran spektral. Masing-masing saluran citra satelit landsat peka terhadap respons atau tanggapan spektral obyek pada julat panjang gelombang tertentu, dan hal ini yang menyebabkan nilai piksel pada berbagai saluran spektral sebagai cerminan nilai tanggapan spektral pun bervariasi. Adanya variasi tanggapan spektral pada setiap saluran merupakan salah satu kelebihan dari citra satelit landsat, sebab dengan memadukan berbagai saluran tersebut dapat diperoleh citra baru dengan informasi baru pula. Berdasarkan citra satelit landsat saluran hijau dan inframerah tengah (TM<sub>2</sub> dan TM<sub>5</sub>), dapat diturunkan informasi kerapatan vegetasi (Suharyadi, 2000 dalam Sanjoto 2013).



Gambar 3. Misi citra Landsat

Sejak tahun 1972, satelit Landsat terus memperoleh gambar permukaan bumi, menyediakan data tanpa gangguan untuk membantu pengelola lahan dan pembuat



kebijakan dalam membuat keputusan yang tepat mengenai sumber daya alam dan lingkungan. Data yang diperoleh satelit Landsat didistribusikan dari Pusat USGS *Earth Resources Observation and Science* (EROS) di Sioux Falls, Dakota Selatan. Berikut dijelaskan misi-misi citra satelit landsat :

1. Landsat 1 : Dengan menggunakan roket Delta 900, Satelit Teknologi Sumber Daya Bumi (ERTS) NASA diluncurkan pada 23 Juli 1972, dari Pangkalan Angkatan Udara Vandenburg di California. Kemudian berganti nama menjadi Landsat 1 menjadi satelit pengamatan bumi pertama yang secara eksplisit dirancang untuk mempelajari planet Bumi. Ini menyumbangkan data yang sangat berharga dan meluncurkan revolusi dalam teknologi penginderaan jauh.
2. Landsat 2 : Landsat 2 membawa sensor yang sama dengan Landsat 1: *Return Beam Vidicon* (RBV) dan (MSS).
3. Landsat 3 : Landsat 3 adalah versi modifikasi dari dua pengorbit pertama. Sensor *Return Beam Vidicon* (RBV) Landsat 3 memiliki resolusi spasial yang ditingkatkan sebesar 40 meter, dibandingkan dengan 80 meter untuk Landsat 1 dan 2. Selain itu, sensor Sistem Pemindai Multispektral (MSS) Landsat 3 dimodifikasi untuk menyertakan pita inframerah termal.
4. Landsat 4 : Landsat 4 diluncurkan dengan *Multispectral Scanner* (MSS) dan sensor pencitraan canggih baru, *Thematic Mapper* (TM), yang memungkinkan pandangan lebih jelas mengenai bencana alam dari luar angkasa.
5. Landsat 5 : Landsat 5 mengorbit planet ini lebih dari 150.000 kali selama 28 tahun dan mengirimkan lebih dari 2,5 juta gambar kondisi permukaan tanah ke seluruh dunia.
6. Landsat 6 : diluncurkan pada tanggal 5 Oktober 1993 dengan roket Titan II dari Pangkalan Angkatan Udara Vandenberg, California, tetapi tidak mencapai orbit. Satelit tersebut membawa Enhanced Thematic Mapper, versi instrumen yang lebih baik pada Landsat 4 dan Landsat 5, dan menyertakan pita pankromatik sepanjang 15 meter.
7. Landsat 7 : Landsat 7, diluncurkan 15 April 1999, memperkenalkan *Enhanced Thematic Mapper Plus*, dan pita pankromatik baru untuk melanjutkan Pengamatan Bumi.

8. Landsat 8 : Landsat 8 (sebelumnya *Landsat Data Continuity Mission*, atau LDCM) diluncurkan dengan roket Atlas-V dari Pangkalan Angkatan Udara Vandenberg, California pada 11 Februari 2013. Satelit tersebut membawa *Operational Land Imager (OLI)* dan *Sensor Inframerah Termal (TIRS)* instrumen.
9. Landsat 9 : Landsat 9 adalah kemitraan antara Survei Geologi AS (USGS) dan Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional (NASA) dan melanjutkan peran penting program Landsat dalam melakukan observasi global berulang untuk memantau, memahami, dan mengelola sumber daya alam bumi.

## 2.8 Citra Landsat 8

Landsat 8 atau *Landsat Data Continuity Mission (LDCM)*, mulai menyediakan produk citra open access sejak tanggal 30 Mei 2013. Pengembangan Landsat 8 merupakan kerjasama antara *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* dan *U.S. Geological Survey (USGS)*. NASA lalu menyerahkan satelit LDCM kepada USGS sebagai pengelola data terhitung 30 Mei tersebut. Pengelolaan arsip data citra masih ditangani oleh *Earth Resources Observation and Science (EROS) Center*. Landsat 8 hanya memerlukan waktu 99 menit untuk mengorbit bumi dan melakukan liputan pada area yang sama setiap 16 hari sekali. Resolusi temporal ini tidak berbeda dengan Landsat versi sebelumnya. Adapun bentuk satelit Landsat 8 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Citra Landsat 8

Citra satelit Landsat dapat diunduh secara gratis pada 3 website berikut.

1. EarthExplorer: <https://earthexplorer.usgs.gov>

2. Global Visualization Viewer: <https://glovis.usgs.gov>
3. LandsatLook Viewer: <https://landsatlook.usgs.gov>

Resolusi temporal 16 hari perlu diperpendek untuk analisis temporal yang lebih komprehensif. Seri satelit Landsat berikutnya, Landsat 9 direncanakan akan diluncurkan ke orbit pada bulan September 2021. Landsat 9 akan membawa sensor dengan resolusi geometrik dan radiometrik yang lebih baik. Nantinya, kombinasi Landsat 8 dan Landsat 9 akan membuat resolusi temporal seri satelit Landsat yang dapat digunakan turun menjadi 8 hari.

Landsat 8 memiliki jumlah band sebanyak 11 buah. Diantara band-band tersebut, 9 band (band 1-9) berada pada OLI dan 2 lainnya (band 10 dan 11) pada TIRS. (Loyd, 2013). Secara singkat, keberadaan band multispektral pada Landsat 8 mendukung kombinasi band RGB (komposit) sesuai kebutuhan untuk mengungkap fenomena yang terjadi di permukaan Bumi.

## 2.9 Citra MODIS

*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* adalah salah satu instrument utama yang dibawa *Earth Observing System (EOS) Terra satellite*. MODIS digunakan untuk mengamati, meneliti dan menganalisa lahan, lautan, atmosfer bumi dan interaksi di dalamnya. MODIS memiliki dua satelit yang berbeda yaitu satelit Aqua (citranya disebut dengan Aqua MODIS) dan satelit Terra (citranya disebut dengan Terra MODIS).



Gambar 5. Citra MODIS

Menurut Prahasata (2008) dalam Herwamda (2016) MODIS mengamati seluruh permukaan bumi setiap 1-2 hari dengan lebar view/tampilan (lebih 2300 km) menyediakan citra radiasi matahari yang direfleksikan pada siang hari dan emisi termal siang/malam diseluruh penjuru bumi. Resolusi spasial MODIS berkisar dari 250-1000 dan memiliki 36 band/saluran. Citra MODIS bisa di download gratis dari situs resmi NASA pada level 1 sampai level 3.

## 2.10 Algoritma Pengukuran Polutan di Udara

Suhu permukaan lahan atau *Land Surface Temperature* (LST) dapat memberikan informasi penting tentang sifat fisik permukaan yang memegang peran penting dalam proses yang berhubungan dengan perubahan suhu permukaan pada lingkungan sekitar (Dousset dan Gourmelon, 2003 dalam Weng, 2004). Saluran inframerah thermal pada sistem penginderaan jauh dapat digunakan untuk menentukan sebaran temperatur. Selain itu, saluran inframerah thermal juga dapat digunakan untuk memantau perubahan temperatur lokal maupun global, digunakan pula dalam pemodelan perubahan iklim, pemantauan temperatur permukaan lahan. Data penginderaan jauh diekstraksi ke *Land Surface Temperature* (LST) yang mewakili informasi variasi temperatur permukaan secara spasial dan berguna untuk studi perubahan iklim, studi perkotaan, kehutanan, pertanian, maupun hidrologi (Orhan & Yakar, 2016 ; Anbazhagan & Paramasivam, 2016).

Dengan memperoleh nilai LST dapat digunakan dalam pengukuran Nitrogen dioksida NO<sub>2</sub> dan Sulfur dioksida SO<sub>2</sub>. Berikut adalah algoritma yang digunakan dalam menentukan kandungan dan sebaran zat polutan di udara:

### 1. Perhitungan SO<sub>2</sub>

Berikut adalah algoritma untuk SO<sub>2</sub> (Viedra & Sukojo, 2023):

$$SO_2 = 0,0117T^3 - 0,3282T^2 + 2,837T - 6,4733 \quad (5)$$

Keterangan :

SO<sub>2</sub> = Kandungan Sulfur dioksida di udara (ppm)

T = Suhu pada band Thermal (C<sup>0</sup>)

### 2. Perhitungan NO<sub>2</sub>

Berikut adalah algoritma perhitungan NO<sub>2</sub> dari pengolahan citra satelit Landsat 8 (Alseroury, 2015):

$$NO_2 = 67.581 + 0.4663 \times T \quad (6)$$

Keterangan :

NO<sub>2</sub> = Kandungan Nitrogen dioksida di udara ( $\mu\text{g} / \text{Nm}^3$ )

T = Suhu pada band Thermal ( $C^0$ )

### 2.11 Koreksi *T-Test*

Uji T. Uji-t adalah jenis pengujian statistika untuk mengetahui apakah ada perbedaan dari nilai yang diperkirakan dengan nilai hasil perhitungan statistika. Nilai perkiraan ini bermacam-macam asalnya, ada yang kita tentukan sendiri, berdasarkan isu, nilai persyaratan, dan lain-lain. Tes t atau Uji t adalah uji statistik yang digunakan untuk menguji kebenaran atau kepalsuan hipotesis nol. Kegunaan Uji T adalah sebagai alat analisis data untuk menguji satu populasi atau dua populasi dan membandingkan dua mean (rata-rata) untuk menentukan apakah perbedaan rata-rata tersebut perbedaan nyata atau karena kebetulan.

Penggolongan Uji T dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Penggolongan uji-T

Uji-t satu sampel hanya membutuhkan sebuah sampel atau variabel dan tentukan nilai perkiraan sebelumnya sedangkan Uji-t sampel berpasangan adalah pengujian untuk mengetahui apakah ada perbedaan nilai dari satu sampel sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan tertentu. Perhatikan walaupun dinamakan 2 sampel namun sebenarnya menggunakan sampel yang sama. Hanya saja dilakukan pengambilan data 2 kali pada waktu yang berbeda.

## 2.12 Korelasi Spearman-Rank

Validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil dari dua citra satelit penginderaan jauh melalui uji korelasi Spearman-Rank. Uji korelasi Charles Spearman atau *Spearman's Rank Correlation Coefficient* atau Spearman's rho adalah uji hipotesis untuk mengetahui hubungan 2 variabel. Uji Koefisien Korelasi Spearman's Rank adalah uji statistik untuk menguji 2 variabel yang berdata ordinal atau salah satu variabel berdata ordinal dan lainnya nominal maupun rasio.

Terkait dengan karakteristik skala data ordinal tersebut maka uji korelasi Spearman termasuk statistik non-parametrik yaitu tidak mensyaratkan data harus berdistribusi normal. Untuk mengetahui terdapat hubungan atau tidak dapat dilihat dari nilai signifikansi dan seberapa kuat hubungan tersebut dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi atau  $r$ . Namun sebelumnya dalam korelasi rank spearman awalnya akan melakukan peringkatan (ranking) terhadap data yang ada, kemudian baru melakukan uji korelasi.

$$\rho = \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \quad (7)$$

Keterangan :

$\rho$  = Menunjukkan tingkat korelasi

$n$  = Jumlah data yang diamati

$d$  = *difference value* dari data yang disandingkan

Dalam menentukan tingkat kekuatan hubungan antar variable, dapat berpedoman pada nilai koefisien korelasi yang merupakan hasil dari output SPSS, dengan ketentuan:

1. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,00 – 0,25 = hubungan sangat lemah
2. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,26 – 0,50 = hubungan cukup
3. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,51 – 0,75 = hubungan kuat
4. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,76 – 0,99 = hubungan sangat kuat
5. Nilai koefisien korelasi sebesar 1,00 = hubungan sempurna

Kekuatan dan arah korelasi (hubungan) akan mempunyai arti jika hubungan antar variable tersebut bernilai signifikan. Dikatakan ada hubungan yang signifikan, jika nilai Sig. (2-tailed) hasil perhitungan lebih kecil dari nilai 0,05 atau 0,01.

Sementara itu, jika nilai sig. (*2-tailed*) lebih besar dari 0,05 atau 0,01, maka hubungan antar variable tersebut dapat dikatakan tidak signifikan atau tidak berarti.

### 2.13 *Root Mean Squared Error (RMSE)*

Root Mean Squared Error (RMSE) adalah suatu metode akurasi yang umum digunakan untuk membandingkan kesalahan prediksi dari dua variabel kontinu yang menunjukkan fenomena yang sama, misalnya perbandingan antar suatu Teknik pengukuran dengan teknik pengukuran yang lain (Safi'i & Dewi, 2020). Nilai RMSE tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{est,i} - x_{meas,i})^2}{N}} \quad (8)$$

Dimana,  $X_{est}$  adalah konsentrasi berdasarkan citra satelit,  $X_{meas}$  adalah konsentrasi berdasarkan pengukuran lapangan dan  $N$  adalah jumlah data. RMSE dapat berkisar dari 0 dari  $\infty$ . RMSE dapat berorientasi negatif dimana nilai yang lebih rendah menunjukkan nilai yang lebih baik. Jika nilai RMSE lebih, hal ini berarti bahwa nilai yang masih perlu dilakukan pengolahan lanjutan.