

PEMANTAUAN KUALITAS UDARA ISPU (PM_{10} , SO_2 , NO_2) MENGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 DAN 9 UNTUK KECAMATAN MIJEN SELAMA PANDEMI COVID-19

Diah Septiyana^{*)}, Abdi Sukmono, Muhammad Adnan Yusuf

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : diahseptiyana@students.undip.ac.id

ABSTRAK

Bukit Semarang Baru (BSB) yang berada di Kecamatan Mijen merupakan kota satelit yang memiliki sarana perumahan, kawasan industri, sarana rekreasi, dan pendidikan. Dengan meningkatnya kegiatan perindustrian, tentunya berdampak pada perubahan lingkungan, salah satunya adalah perubahan kualitas udara. Penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kandungan polutan yang ada di udara. Citra satelit Landsat 8 dan Landsat 9 dapat dimanfaatkan untuk pemantauan sebaran PM_{10} , SO_2 , dan NO_2 dengan menggunakan kombinasi *band 4-3-2* dan *Mono Window Algorithm (MWA)* dalam penentuan *Land Surface Temperature (LST)*. Hasil pengolahan algoritma PM_{10} pada periode sebelum, selama, dan sesudah Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PKM) menunjukkan bahwa pada periode PKM sebaran PM_{10} mengalami penurunan di bulan April 2021 dan Juni 2021 dengan nilai luas yang sama yakni 57 km² atau semua daerah di Kecamatan Mijen berada pada rentang yang sama yakni 0-19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Keberagaman dan rentang nilai SO_2 tertinggi berada pada tanggal akuisisi citra 17 Agustus 2021 yang mana nilai tertinggi mencapai rentang >300 ppm. Hasil pengolahan algoritma NO_2 pada periode sebelum, selama, dan sesudah PKM menunjukkan hasil citra bulan Agustus memiliki nilai rentang tertinggi yang mencapai 179-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Walaupun nilai rata-rata antara hasil pengolahan algoritma PM_{10} dengan hasil pengukuran Dinas Lingkungan Hidup berbeda, namun setelah dilakukan konversi masih sesuai karena berada pada satu kategori ISPU yang sama. Untuk parameter SO_2 , kategori ISPU pengolahan citra yang sesuai dengan kategori ISPU dari DLH hanya pada tanggal 27 April 2021 dan 22 April 2022. Namun untuk hasil parameter NO_2 tidak sesuai dengan pengukuran Dinas Lingkungan Hidup karena berada pada kategori yang berbeda.

Kata Kunci : Landsat 8, Landsat 9, pencemaran udara, Pembatasan Kegiatan Masyarakat

ABSTRACT

Bukit Semarang Baru (BSB) located in Mijen District is a satellite city that has housing facilities, industrial areas, recreational facilities, and education. With the increase in industrial activities, of course it will have an impact on environmental changes, one of which is changes in air quality. Remote sensing can be used to detect pollutant content in the air. Landsat 8 and Landsat 9 satellite images can be utilized for monitoring the distribution of PM_{10} , SO_2 , and NO_2 by using a combination of bands 4-3-2 and the Mono Window Algorithm (MWA) in determining Land Surface Temperature (LST). The processing results of the PM_{10} algorithm in the period before, during and after the Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PKM) show that during the PKM period the distribution of PM_{10} decreased in April 2021 and June 2021 with the same area value of 57 km² or all areas in Mijen District are in the same range, namely 0 -19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The highest diversity and range of SO_2 values are on the image acquisition date of August 17, 2021, where the highest values reach >300 ppm. The processing results of the NO_2 algorithm in the period before, during and after PKM show that the August image results have the highest range values reaching 179-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Even though the average value between the processing results of the PM_{10} algorithm and the measurement results from the Environmental Service is different, after conversion it is still appropriate because they are in the same ISPU category. For the SO_2 parameter, the image processing ISPU category matches the ISPU category from DLH only on April 27, 2021 and April 22, 2022. However, the results for the NO_2 parameter are not in accordance with the Environmental Service's measurements because they are in a different category.

Keywords: air pollution, Landsat 8, Landsat 9, Pembatasan Kegiatan Masyarakat

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

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 μm , partikel kurang dari 10 μm (PM_{10}), dan partikel kurang dari 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$). Gas pencemar lainnya termasuk sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), dan ozon permukaan (O_3). (Rita dkk, 2016). Zat pencemar yang melebihi batas ISPU dapat membahayakan kesehatan manusia. Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika, dan makhluk hidup lainnya (Presiden Republik Indonesia, 1999).

Bukit Semarang Baru (BSB) berada di Kecamatan Mijen dan dirancang sebagai kota otonom dengan semua fasilitas. Kawasan industri Bukit Semarang Baru (BSB) memiliki luas total 84 hektar dengan luas lahan terbangun sebesar 57 hektar (Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Satu Pintu Provinsi Jawa Tengah, 2019). Dengan berkembangnya BSB, tidak menutup kemungkinan bahwa Kecamatan Mijen akan mengalami peningkatan ekonomi khususnya dari sektor industri maupun pemukiman.

Untuk menekan dan menanggulangi penyebaran COVID-19 termasuk negara-negara di Asia Tenggara memberlakukan pembatasan mobilitas masyarakat (Dzulfikri, 2021). Kebijakan pembatasan kegiatan di Indonesia diatur dalam Undang-Undang No 6 Tahun 2018 mengenai Keekarantinaan Kesehatan. Presiden Jokowi pada 1 Juli 2021 mengumumkan kebijakan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) yang merupakan kebijakan dalam merespon adanya Kedaruratan Kesehatan (Indiati, 2022). Kota Semarang tidak menerapkan PPKM, namun menerapkan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PKM) dalam menekan angka penyebaran virus COVID-19. Dengan adanya kegiatan PKM, aktivitas di luar ruangan berkurang, sehingga kandungan polusi di udara akibat kegiatan manusia bisa saja berkurang. Untuk itu, penelitian mengenai sebaran dan kandungan polutan selama kegiatan PKM di Semarang perlu dilakukan untuk mengetahui apakah kegiatan PKM berdampak pada penurunan kandungan polusi udara.

Penelitian untuk mendeteksi dan memantau kualitas udara oleh Dede dkk (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. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Viedra & Sukojo (2023) menganalisis pengaruh laju deforestasi dan suhu permukaan tanah pada polusi udara (SO_2 dan NO_2).

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, penulis ingin melakukan penelitian mengenai pemantauan kualitas udara menggunakan citra satelit Landsat 8 dan Landsat 9 menggunakan algoritma dari penelitian Dede dkk (2020) dan Viedra & Sukojo (2023) pada periode sebelum, selama, dan sesudah PKM. Periode sebelum, selama, dan sesudah PKM dipilih untuk mengetahui tren dan pola sebaran polutan PM_{10} , SO_2 , dan NO_2 dan bagaimana tingkatan kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) pada ketiga periode tersebut.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sebaran polutan (PM_{10} , SO_2 , NO_2) di Kecamatan Mijen sebelum, selama, dan sesudah Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PKM)?
2. Bagaimana kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) Kecamatan Mijen berdasarkan PermenLHK No 14 Tahun 2020 selama pandemi COVID-19?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dalam melakukan penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui sebaran kualitas udara Kecamatan Mijen dari pengolahan citra satelit Landsat 8 dan 9 sebelum PKM, selama PKM, dan setelah PKM berlangsung.
2. Mengetahui kategori ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara) Kecamatan Mijen berdasarkan PermenLHK No 14 Tahun 2020 selama pandemi COVID-19.

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini, yaitu:

1. Segi Keilmuan
Dari segi keilmuan diharapkan bisa memberikan pemahaman dalam melakukan pemantauan kualitas udara menggunakan citra Landsat dan algoritma kualitas udara.
2. Segi Pemerintahan
Dari segi pemerintahan diharapkan mampu dijadikan bahan masukan dan kajian bagi instansi terkait seperti Dinas Lingkungan Hidup dalam melakukan pemantauan mengenai kualitas udara menggunakan data olahan citra dan algoritma.

I.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi masalah agar sesuai dengan topik yang akan dibahas pada penelitian, maka dibuat batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. Pengukuran kualitas udara dilakukan dengan algoritma kualitas udara berdasarkan (Dede dkk, 2020) dan (Viedra & Sukojo, 2023).
2. Konsentrasi polutan dari pengolahan algoritma adalah rata-rata dari *buffer* titik AQMS (*Air Quality Monitoring System*) sejauh 5 km.
3. Verifikasi data menggunakan data pengukuran kualitas udara dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang.

4. Pola sebaran kandungan PM₁₀, SO₂, dan NO₂ dianalisis menggunakan Global Moran's I dan Indeks *Local Indicator of Spatial Autocorrelation (LISA)* dengan matriks *contiguity* yang digunakan adalah *queen contiguity*.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 PKM (Pembatasan Kegiatan Masyarakat)

Walikota Semarang menetapkan kebijakan pembatasan kegiatan masyarakat (PKM) untuk menghentikan penyebaran virus corona. Menurut Peraturan Walikota Semarang Nomor 57 Tahun 2020, Pembatasan Kegiatan Masyarakat adalah upaya pemerintah daerah untuk mencegah penyebaran wabah COVID-19 dengan membatasi kegiatan orang-orang yang berinteraksi dengan orang lain dan yang menggunakan ruang publik, transportasi publik, dan bangunan publik.

II.2 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Presiden Republik Indonesia, 1999). Zat polutan yang dapat menyebabkan pencemaran udara diantaranya: Karbon monoksida (CO), Karbon dioksida (CO₂), Sulfur dioksida (SO₂), Nitrogen dioksida (NO₂), Hidrokarbon (HC), *Chlorouorocarbon* (CFC), Timbal (Pb), dan Partikulat (PM10) (Abidin & Hasibuan, 2019).

II.6 ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara)

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020, Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu yang didasarkan pada dampak pada makhluk hidup, nilai estetika, dan kesehatan manusia. ISPU meliputi parameter partikulat (PM_{2.5}), partikulat (PM₁₀), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), Ozon (O₃), dan hidrokarbon (HC).

Tabel 1 Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 14, 2020)

ISPU	24 jam PM ₁₀ µg/m ³	24 jam SO ₂ µg/m ³	24 jam NO ₂ µg/m ³
0-50	50	52	80
51-100	150	180	200
101-200	350	400	1130
201-300	420	800	2260
>300	500	1200	3000

Tata cara perhitungan menggunakan persamaan:

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b \dots\dots\dots (II-1)$$

Dimana:

- I = ISPU terhitung
- I_a = ISPU batas atas
- I_b = ISPU batas bawah
- X_a = konsentrasi ambien batas atas (µg/m³)
- X_b = konsentrasi ambien batas bawah (µg/m³)
- X_x = konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg/m³)

II.2.1 PM₁₀ (Particulate Matter 10)

Gas kontaminan dapat terdiri dari sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), oksidan/ozon permukaan (O₃), dan partikel tersuspensi total (TSP) hingga 100 m. Sebaliknya, partikel kontaminan dapat berupa partikel berdiameter kurang dari 10 mikron (PM₁₀) dan partikel berdiameter kurang dari 2,5 mikron (PM_{2.5}) (Rita dkk., 2016). Dua jenis partikel adalah *dust fall* dan *suspended particulate matter* (SPM). SPM adalah partikel berukuran kurang dari 10µm dan berasal dari kegiatan industri dan pembakaran. *Dust fall* adalah partikel berukuran lebih besar dari 10µm dan tersuspensi di udara selama lebih lama. (Prabowo & Muslim, 2018).

II.2.2 Sulfur dioksida (SO₂)

Sulfur dioksida (SO₂) dan SO₃ membentuk gas belerang oksida (Sox) yang sangat berbahaya bagi tubuh manusia. Gas SO₂ berbau menyengat dan sukar terbakar. Konsentrasi SO₂ di udara akan terdeteksi oleh indera penciuman manusia jika konsentrasinya berkisar antara 0,3 – 1 ppm (Prabowo & Muslim, 2018). Gas SO₂ umumnya dihasilkan dari kegiatan pembakaran bahan bakar minyak maupun zat yang mengandung sulfur. SO₂ yang larut dalam uap air akan membentuk asam sulfat yang memicu terjadinya hujan asam.

II.2.3 Nitrogen dioksida (NO₂)

Nitrogen oksida (NO_x) terdiri dari gas NO₂ dan gas NO. Emisi nitrogen oksida terbesar dihasilkan oleh aktivitas pembakaran seperti pembakaran kendaraan, pembangkit listrik dan pembuangan limbah. Sebagian besar emisi NO_x manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas alam, dan bahan bakar. (Prabowo & Muslim, 2018). Konsentrasi NO₂ yang berlebih dapat berdampak buruk pada paru-paru manusia.

II.3 Penginderaan Jauh Kualitas Udara

Sebagai metode pemantauan polusi udara yang penting, penginderaan jauh memainkan peran penting dalam mempelajari distribusi polusi udara secara temporal dan spasial, serta mekanisme dampaknya terhadap ekosistem (Frontiers, 2023).

II.3.1 Landsat 8

Satelit ini membawa instrumen *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Instrumen OLI mengukur spektrum tampak, inframerah dekat, dan gelombang pendek inframerah

(VNIR, NIR, dan SWIR). TIRS mengukur suhu permukaan tanah dalam dua pita termal dengan teknologi baru yang menerapkan fisika kuantum untuk mendeteksi panas (USGS, 2015). Citra Landsat 8 memiliki resolusi spasial pankromatik 15 meter dan multispektral 30 meter sepanjang petak 185 km (115 mi) (USGS, 2015). Landsat 8 mengorbit Bumi hanya dalam 99 menit, meliputi area yang sama setiap 16 hari (Fawzi & Husna, 2021).

II.3.2 Landsat 9

Satelit ini membawa dua instrumen sains, *Operasional Land Imager 2* (OLI-2) dan sensor inframerah termal 2 (TIRS-2). OLI-2 menangkap pengamatan permukaan bumi dalam pita *near-infrared*, dan *shortwave-infrared*, dan TIRS-2 mengukur radiasi inframerah termal, atau panas, yang dipancarkan dari permukaan bumi. Peningkatan Landsat 9 termasuk resolusi radiometrik yang lebih tinggi untuk OLI-2 (kuantisasi 14-bit meningkat dari 12-bit untuk Landsat 8) yang memungkinkan sensor untuk mendeteksi perbedaan yang lebih halus, terutama di area yang lebih gelap seperti air atau hutan lebat. Dengan resolusi radiometrik yang lebih tinggi, Landsat 9 dapat membedakan 16.384 warna dengan panjang gelombang yang diberikan (USGS, 2022).

II.3.3 Algoritma Penentuan Polusi Udara

Berikut adalah algoritma yang digunakan dalam menentukan kandungan dan sebaran zat polutan di udara:

1. Pengukuran PM₁₀

Berikut adalah rumus algoritma untuk PM₁₀ (Dede dkk., 2020) yang merupakan modifikasi dari algoritma (Othman dkk, 2010):

$$PM_{10} = (96 \times BR_p) + (253 \times BG_p) - (194 \times BB_p) \dots \dots \dots (II-2)$$

dimana PM₁₀ merupakan partikulat aerosol (µg/m³), BR_p reflektansi BoA band merah, BG_p reflektansi BoA band hijau, dan BB_p reflektansi BoA band biru.

2. Pengukuran SO₂

Berikut adalah algoritma untuk SO₂ (Viedra & Sukojo, 2023):

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

dimana SO₂ merupakan kandungan sulfur dioksida diudara (ppm) dan T nilai suhu pada band termal (C).

3. Pengukuran NO₂

Berikut adalah algoritma perhitungan NO₂ dari pengolahan citra satelit Landsat 8 (Alseroury, 2015):

$$NO_2 = 163,88 + 0,3908 \times T \dots \dots \dots (II-4)$$

dimana NO₂ merupakan konsentrasi gas nitrogen dioksida (µg/m³) dan T nilai suhu pada band termal (C).

II.4 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Indeks vegetasi mentransformasikan citra berbasis data spektral yang dimanfaatkan untuk pengamatan tumbuhan dan dimodifikasi untuk berbagai keperluan seperti efek soil background dalam analisis vegetasi. Nilai NDVI dihitung sebagai rasio antara pantulan yang terukur dari band merah (R) dan band inframerah (NIR). Nilai-nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1. Kedua kanal ini digunakan karena hasil ukurannya dipengaruhi oleh penyerapan klorofil, memudahkan dalam pembedaan antara lahan bervegetasi, lahan terbuka, dan air serta peka terhadap biomassa vegetasi (Hardianto dkk, 2021). Persamaan untuk menghitung nilai NDVI yaitu:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \dots \dots \dots (II-5)$$

dimana:

NIR : band dengan panjang gelombang inframerah dekat (B5)

RED : band dengan panjang gelombang merah (B4)

II.5 Mono Window Algorithm (MWA)

Algoritma ini membutuhkan nilai emisivitas permukaan tanah, transmisi atmosfer dan rata-rata temperatur efektif atmosfer. MWA digunakan untuk menentukan nilai estimasi LST. Dalam algoritma ini, estimasi LST telah mempertimbangkan emisivitas permukaan dan proporsi vegetasi (PV).

1. Perhitungan *Proportion of Vegetation* (PV)

Nilai PV bertujuan untuk mengestimasi besaran fraksi pada suatu area yang tertutup vegetasi. Estimasi nilai PV didapat dari nilai NDVI yang didapat sebelumnya serta nilai NDVI_s (*Soil* atau minimum) dan NDVI_v (*Vegetation* atau maximum) yang diklasifikasikan dari nilai NDVI (Solihin & Putri, 2020).

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \dots \dots \dots (II-6)$$

Keterangan:

PV : *Proportion of Vegetation*

NDVI : Nilai NDVI yang sebelumnya diperoleh

NDVI_{min} : Nilai NDVI untuk tanah (0.2)

NDVI_{max} : Nilai NDVI untuk vegetasi (nilai terbesar NDVI)

2. Perhitungan *Emissivity* (E)

Emisivitas bertujuan untuk mengukur karakteristik yang melekat pada permukaan bumi dan mengukur kemampuannya untuk mengubah energi termal atau panas menjadi energi radiasi (Solihin & Putri, 2020). Perhitungan E menggunakan nilai PV, seperti pada persamaan berikut:

$$e = 0,004PV + 0,986 \dots \dots \dots (II-7)$$

dimana e adalah emisivitas, dan PV adalah *Proportion of Vegetation*.

3. Perhitungan *Brightness Temperature* (BT)

Brightness Temperature (BT) adalah perjalanan radiasi elektromagnetik ke atas dari atas atmosfer bumi (Kumar dkk, 2021). Setelah mendapatkan

nilai reflektan itu harus dikonversi menjadi BT dengan bantuan persamaan berikut:

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15 \dots\dots\dots (II-8)$$

dimana:

BT : *top of atmosphere brightness temperature* (°C)

Lλ : radian spectral TOA

K1 : konstanta konversi termal spesifik pita

K2 : konstanta konversi termal spesifik pita

- Perhitungan *Land Surface Temperature* (LST)
Persamaan untuk menghitung nilai LST adalah:

$$LST = \left(\frac{BT}{(1 + (\lambda \cdot \frac{BT}{c^2}) \cdot \ln(E))} \right) \dots\dots\dots (II-9)$$

dimana:

BT : *top of atmosphere brightness temperature* (°C)

λ : panjang gelombang pancaran yang dipancarkan

E : emisivitas permukaan tanah

c2 : diperoleh dari $h \times c/s = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ mk} = 14.388 \text{ mk}$ [h mewakili konstanta Planck ($6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$); s mewakili konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ JK}$); C mewakili kecepatan cahaya ($2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$)]

II.6 Autokorelasi Spasial

Autokorelasi spasial adalah korelasi antara variabel dengan dirinya sendiri berdasarkan ruang atau diartikan suatu ukuran kemiripan dari objek di dalam ruang (jarak, waktu, dan wilayah) (Lutfi dkk, 2019). Indeks *Moran* dan Rasio *Geary* digunakan untuk menghitung autokorelasi spasial secara global, sedangkan Indeks *LISA* untuk menghitung autokorelasi spasial secara lokal (Habinuddin, 2021).

III. Metodologi Penelitian

III.1 Alat dan Data Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- Perangkat Keras
 - Laptop HP Laptop 14s-dk0073AU, sebagai alat penunjang keberlangsungan penelitian.
 - Kamera *smartphone* untuk dokumentasi
- Perangkat Lunak
 - Microsoft Office Word untuk pengusunan laporan hasil penelitian.
 - Microsoft Office Excel untuk pengolahan data.
 - Microsoft Visio untuk pembuatan diagram alir.
 - Software* QGIS untuk pra-pemrosesan citra dan pengolahan data
 - Software* ArcGIS 10.7.1 untuk pembuatan *Global Moran's I* dan *layout* peta
 - Software* Geoda untuk pembuatan pola sebaran *LISA*

Data yang digunakan dalam penelitian dan perolehannya adalah sebagai berikut:

- Data citra satelit Landsat 8 dan Landsat 9 yang diperoleh melalui <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Pemilihan tanggal akuisisi citra didasarkan pada kegiatan PKM yang ditetapkan oleh Pemerintah Kota Semarang. Rincian data citra dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

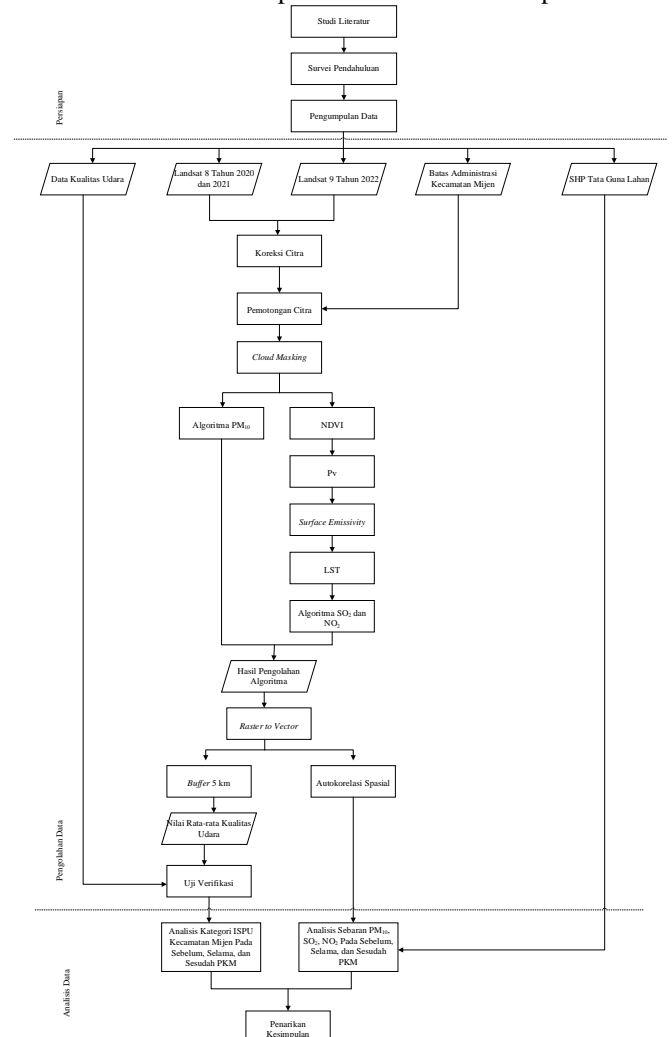
Tabel 2 Data Citra Satelit

Periode	Citra	Tanggal Akuisisi
Sebelum PKM	Landsat 8 Level-1	24 April 2020
Selama PKM		10 Mei 2020
		11 Juni 2020
		27 April 2021
		30 Juni 2021
Sesudah PKM	Landsat 9 Level-1	17 Agustus 2021
		22 April 2022
		27 Juli 2022

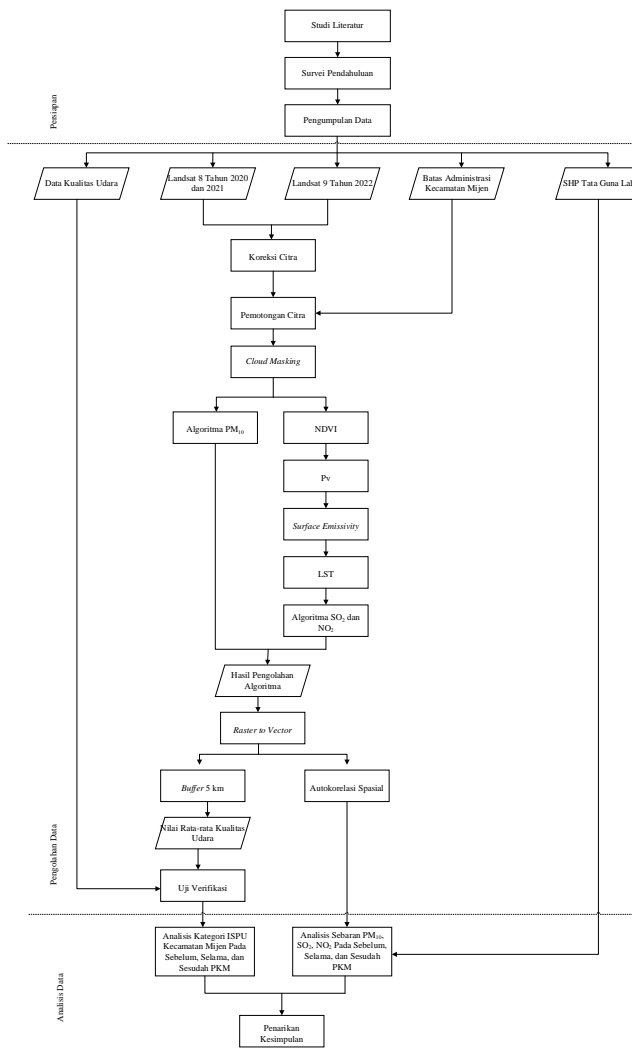
- Data kualitas udara Kecamatan Mijen tahun 2020 - 2022 dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang.
- Shapefile* batas administrasi dan penggunaan lahan Kecamatan Mijen dari Dinas Tata Ruang Kota Semarang.

III.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dari penelitian pemantauan kualitas udara ini dapat dilihat pada



Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

III.3 Pelaksanaan Penelitian

III.3.1 Persiapan

Tahap ini menyajikan informasi terkait persiapan penelitian yang meliputi studi literatur, survei pendahuluan, dan pengumpulan data.

III.3.2 Pra Pengolahan Data

Tahapan pra pengolahan dari citra Landsat 8 dan Landsat 9 ini berupa koreksi atmosferik, radiometrik dan pemotongan citra. Koreksi tersebut menggunakan plugin SCP yang terdapat pada software QGIS.

III.3.3 Pengolahan Data

Pada sub bab ini akan meliputi pengolahan NDVI, Pv, emissivity, dan LST sebagai tahap awal sebelum pengolahan algoritma SO₂ dan NO₂. Pengolahan Algoritma Kualitas Udara

Untuk mengetahui pola sebaran hasil algoritma, dilakukan pengolahan menggunakan autokorelasi spasial di ArcGIS. Sedangkan untuk pola sebaran LISA menggunakan software Geoda.

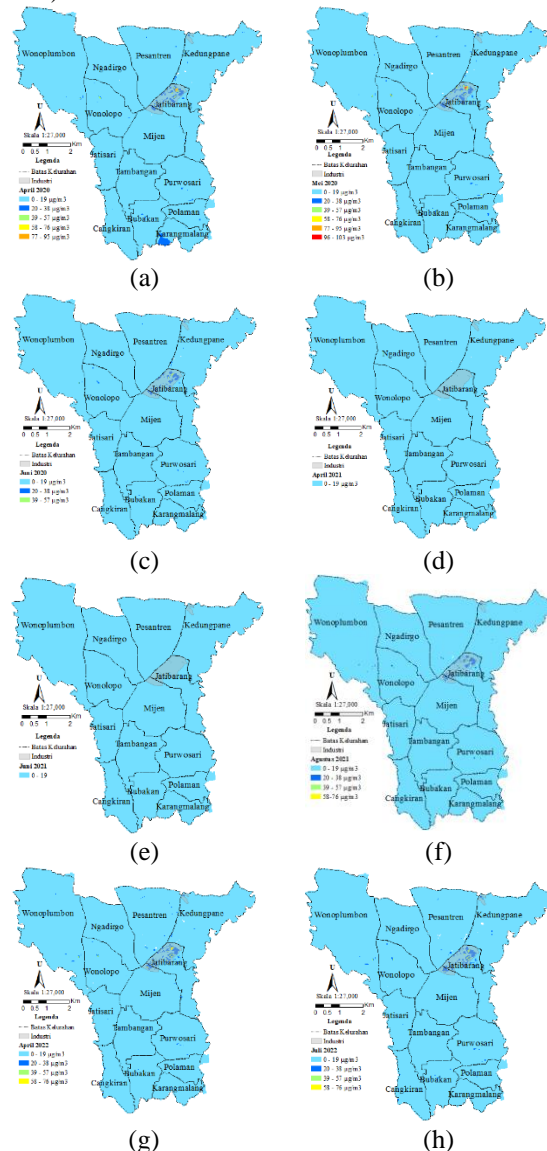
III.3.4 Pengujian Data

Uji verifikasi dilakukan dengan cara membandingkan data pengukuran dari Dinas Lingkungan Hidup dan rata-rata nilai pengolahan algoritma. Rata-rata nilai diperoleh dari rata-rata buffer sepanjang 5 km dari titik stasiun AQMS milik Dinas Lingkungan Hidup. Perhitungan nilai dan kategori ISPU sesuai persamaan (II-1) dimana nilai mean citra sebagai nilai konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran. Karena nilai algoritma SO₂ memiliki satuan ppm, maka harus diubah menjadi µg/m³ sebelum dilakukan persamaan (II-1).

IV. Hasil dan Analisis

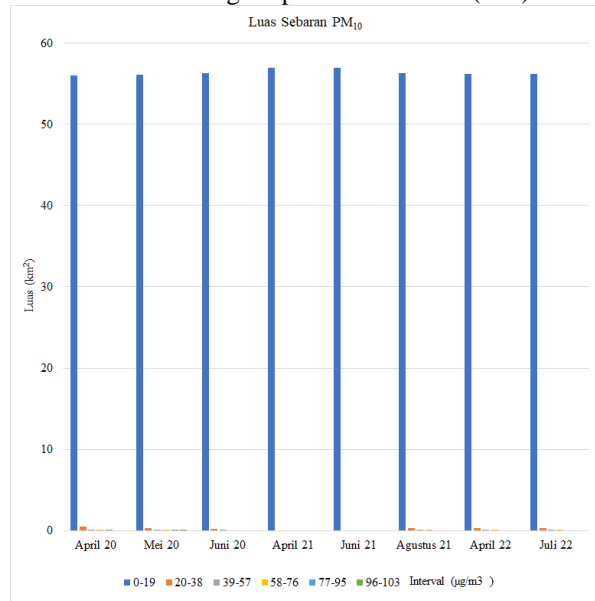
IV.1 Hasil dan Analisis Pengolahan Algoritma PM₁₀

Berikut adalah hasil pengolahan algoritma PM₁₀ menurut algoritma dari (Dede dkk., 2020) yang merupakan modifikasi dari algoritma (Othman dkk, 2010).



Gambar 2 Sebaran PM₁₀ (a) Sebelum PKM; (b), (c), (d), (e), (f) Selama PKM; (g), (h) Sesudah PKM. Dapat dilihat bahwa luas pada bulan Mei 2020 memiliki 6 interval dimana luas terbesar berada pada interval 0-

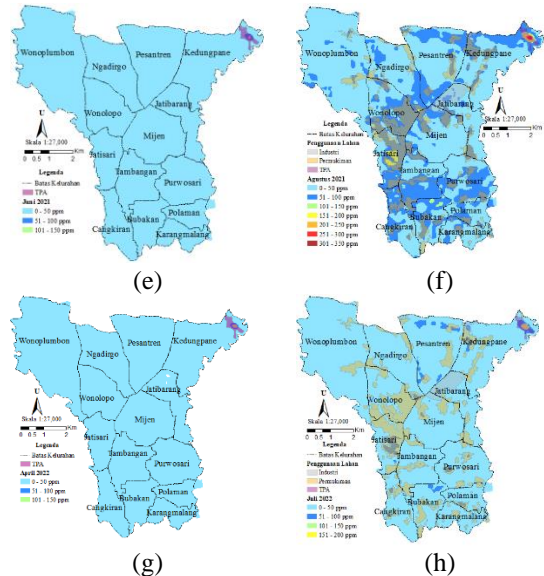
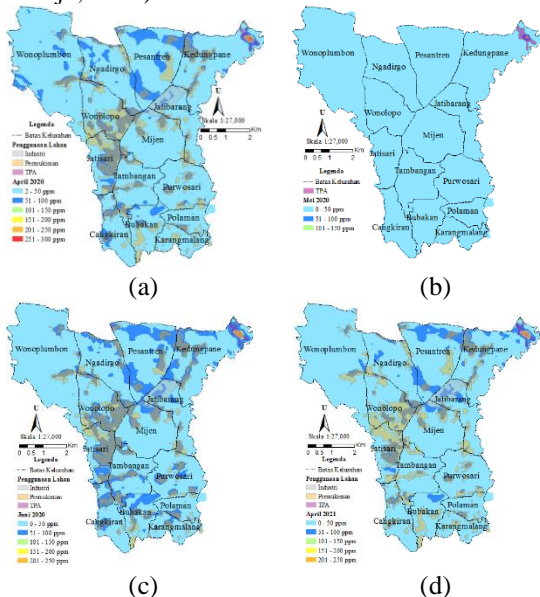
19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan pada bulan April 2021 dan Juni 2021 luas sebaran PM_{10} hanya berada pada satu interval yaitu 0-19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai p -value dan nilai z -score membentuk pola sebaran pada *Global Moran's I*. Dari hasil autokorelasi spasial *Global Moran's I* dapat disimpulkan bahwa pada semua hasil pengolahan citra memiliki pola spasial mengelompok (*clustered*), kecuali pada bulan Mei 2020 yang menunjukkan pola acak (*random*). Dari hasil autokorelasi *LISA*, dapat disimpulkan bahwa pada kawasan industri dan kawasan TPA memiliki pola mengelompok dan berada pada hubungan spasial *High - High* (H-H), sedangkan daerah lain memiliki hubungan spasial *Low - Low* (L-L).



Gambar 3 Diagram Luas PM_{10} Pada 3 Periode. Dari **Gambar 3** di atas, dapat disimpulkan bahwa pada semua periode PKM didominasi oleh sebaran PM_{10} pada rentang terendah yakni 0-19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

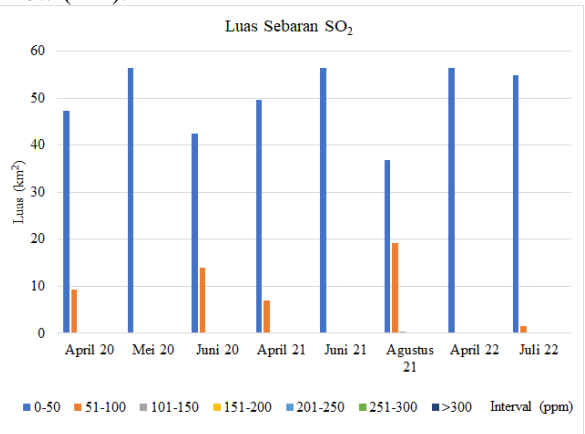
IV.2 Hasil dan Analisis Pengolahan Algoritma SO_2

Berikut adalah hasil pengolahan algoritma SO_2 menurut algoritma dari (Dede dkk., 2020) dan (Viedra & Sukojo, 2023).



Gambar 4 Sebaran SO_2 (a) Sebelum PKM; (b), (c), (d), (e), (f) Selama PKM; (g), (h) Sesudah PKM

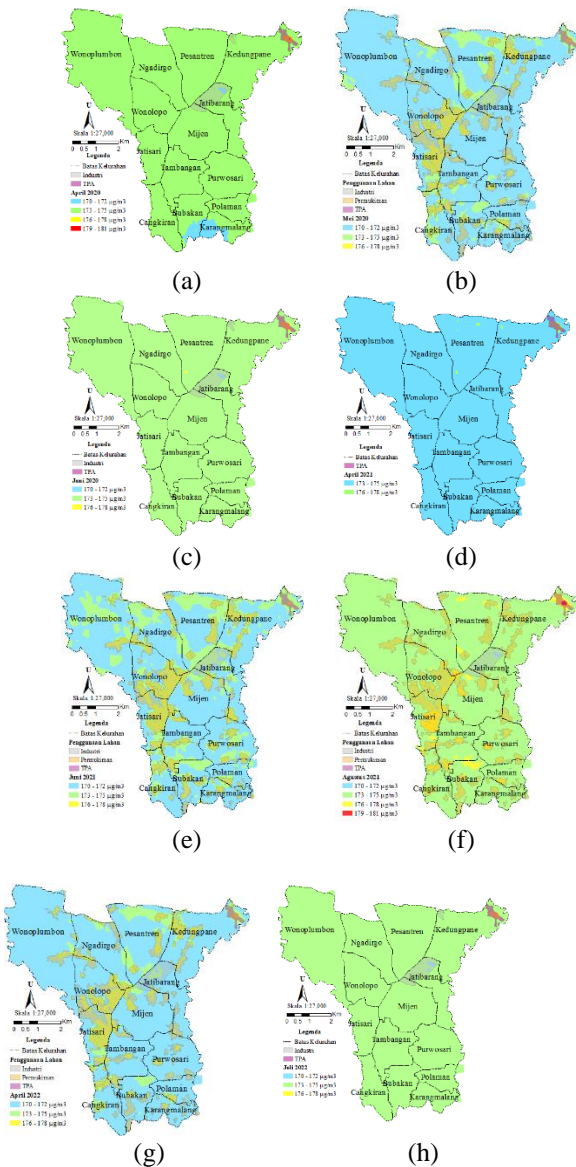
Nilai SO_2 didominasi pada rentang nilai 0-50 ppm, dengan nilai interval tertinggi yakni >300 ppm yang berada pada bulan Agustus 2021. Jika dilihat dari pola sebarannya, nilai SO_2 tertinggi berada pada kawasan TPA. Nilai p -value dan nilai z -score membentuk pola sebaran pada *Global Moran's I*. Dari hasil autokorelasi spasial *Global Moran's I* dapat disimpulkan bahwa pada semua hasil pengolahan citra memiliki pola spasial mengelompok (*clustered*). Dari hasil autokorelasi *LISA*, dapat disimpulkan bahwa pada kawasan TPA dan beberapa daerah lain memiliki pola mengelompok dan berada pada hubungan spasial *High - High* (H-H), sedangkan daerah lain memiliki hubungan spasial *Low - Low* (L-L).



Gambar 5 Diagram Luas SO_2 Pada 3 Periode. Dari **Gambar 5** dapat disimpulkan bahwa sebaran nilai SO_2 didominasi pada rentang nilai 0-50 ppm dan rentang nilai 51-100 ppm menyebar pada kawasan pemukiman.

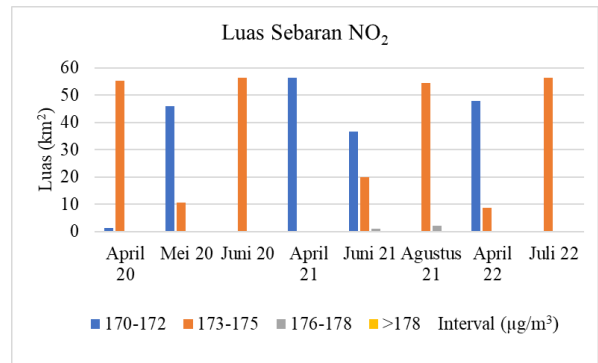
IV.3 Hasil dan Analisis Pengolahan Algoritma NO_2

Berikut adalah hasil pengolahan algoritma NO_2 menurut algoritma dari (Dede dkk., 2020) dan (Viedra & Sukojo, 2023).



Gambar 6 Sebaran NO₂ (a) Sebelum PKM; (b), (c), (d), (e), (f) Selama PKM; (g), (h) Sesudah PKM

Dapat dilihat bahwa pada April 2021 kandungan NO₂ hanya berada pada 2 interval. Sedangkan pada April 2020 dan Agustus 2021 mempunyai 4 rentang interval. Dari 3 periode tersebut, terlihat bahwa sebaran NO₂ didominasi pada rentang 173-175 µg/m³. Jika dilihat dari sebarannya, nilai NO₂ tertinggi berada pada kawasan Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Dari hasil autokorelasi spasial *Global Moran's I* dapat disimpulkan bahwa pada semua data memiliki pola spasial mengelompok (*clustered*), kecuali pada bulan Juni 2021 yang menunjukkan pola acak (*random*). Dari hasil autokorelasi *LISA*, dapat disimpulkan bahwa pada kawasan TPA dan beberapa daerah lain memiliki pola mengelompok dan berada pada hubungan spasial *High - High* (H-H), sedangkan daerah lain memiliki hubungan spasial *Low - Low* (L-L), dan pada sebagian daerah lain memiliki hubungan *not significant*.



Gambar 7 Diagram Luas NO₂ Pada 3 Periode
 Dari **Gambar 7** dapat disimpulkan bahwa sebaran NO₂ yang didominasi rentang nilai 170-172 µg/m³ berada pada bulan Mei 2020, April 2021, Juni 2021, dan April 2022. Sedangkan sisanya didominasi rentang nilai 173-175 µg/m³.

IV.4 Hasil dan Analisis Kategori ISPU Kecamatan Mijen

Jenis kategori didapat setelah nilai rata-rata hasil pengolahan citra dikonversi sesuai persamaan (II-1).

1. PM₁₀

Tabel 3 Kategori ISPU PM₁₀

Periode	Tanggal	Nilai ISPU	Kategori ISPU
Sebelum PKM	24/4/2020	8,444	Baik
PKM	10/5/2020	8,048	Baik
	11/6/2020	8,886	Baik

Tabel 3 Kategori ISPU PM₁₀ (lanjutan)

Periode	Tanggal	Nilai ISPU	Kategori ISPU
PKM	27/4/2021	8,181	Baik
	30/6/2021	9,286	Baik
	17/8/2021	8,515	Baik
Setelah PKM	22/4/2022	7,663	Baik
	27/7/2022	8,164	Baik

Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa nilai terendah pada tanggal 22 April 2022 yakni sebesar 7,663 dan dalam kategori “baik”. Sedangkan nilai konversi tertinggi berada pada tanggal 30 Juni 2021 yakni sebesar 9,286 dan dalam kategori “baik”. Kategori ISPU dari Dinas Lingkungan Hidup menunjukkan semua data berada pada kategori “baik”. Walaupun nilai rata-rata antara hasil pengolahan algoritma dan hasil pengukuran DLH berbeda, namun setelah dilakukan konversi sesuai dengan persamaan (II.1) masih sesuai karena berada pada satu kategori yang sama, yakni kategori “baik”.

2. SO₂

Tabel 4 Kategori ISPU SO₂

Periode	Tanggal	Nilai ISPU	Kategori ISPU
---------	---------	------------	---------------

Sebelum PKM	24/4/2020	73,367	Sedang
PKM	10/5/2020	31,005	Baik
	11/6/2020	80,161	Sedang
	27/4/2021	70,506	Sedang
	30/6/2021	35,088	Baik
	17/8/2021	84,804	Sedang
Setelah PKM	22/4/2022	29,241	Baik
	27/7/2022	62,971	Sedang

Dari **Tabel 4** dapat dilihat bahwa terdapat dua kategori ISPU, yakni “baik” dan “sedang”. Kategori ISPU “baik” ada pada tanggal akuisisi citra 10 Mei 2020, 30 Juni 2021, dan 22 April 2022. Sedangkan sisanya berada pada kategori “sedang”. Kategori ISPU dari Dinas Lingkungan Hidup menunjukkan pada tanggal 27 April 2021 dan 30 Juni 2021 berada pada kategori “sedang”, dimana sisanya berada pada kategori “baik”. Dari **Tabel 4** dapat disimpulkan bahwa kategori ISPU pengolahan citra yang sesuai dengan kategori ISPU dari DLH hanya pada tanggal 27 April 2021 dan 22 April 2022. Sedangkan pada tanggal akuisisi yang lain berbeda kategori.

3. NO₂

Tabel 5 Kategori ISPU NO₂

Periode	Tanggal	Nilai ISPU	Kategori ISPU
Sebelum PKM	24/4/2020	89,091	Sedang

Tabel 5 Kategori ISPU NO₂ (lanjutan)

Periode	Tanggal	Nilai ISPU	Kategori ISPU
PKM	10/5/2020	88,603	Sedang
	11/6/2020	89,167	Sedang
	27/4/2021	89,173	Sedang
	30/6/2021	88,671	Sedang
	17/8/2021	89,488	Sedang
Setelah PKM	22/4/2022	88,682	Sedang
	27/7/2022	89,099	Sedang

Tabel 5 menunjukkan kategori ISPU NO₂ dari hasil pengolahan algoritma. Untuk parameter NO₂ ini tidak sesuai dengan hasil pengukuran dari Dinas Lingkungan Hidup karena berada pada rentang yang “sedang”. Sedangkan pada hasil pengukuran DLH berada pada rentang “baik”.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pola sebaran PM₁₀ pada periode sebelum, selama, dan sesudah PKM signifikan pada pola mengelompok (*clustered*), kecuali pada Mei 2020

yang menunjukkan pola sebaran acak (*random*), dengan nilai sebaran tertinggi berada pada kawasan industri. Pola sebaran SO₂ pada periode sebelum, selama, dan sesudah PKM signifikan pada pola mengelompok (*clustered*), dengan nilai sebaran tertinggi berada pada kawasan TPA (Tempat Pembuangan Akhir) dan nilai sebaran “sedang” menyebar pada kawasan industri dan daerah pemukiman. Pola sebaran NO₂ pada periode sebelum, selama, dan sesudah PKM signifikan pada pola mengelompok (*clustered*), kecuali pada Juni 2021 yang menunjukkan pola sebaran acak (*random*), dengan nilai sebaran tertinggi berada pada kawasan TPA (Tempat Pembuangan Akhir) dan nilai sebaran “sedang” menyebar pada kawasan industri dan daerah pemukiman.

2. Walaupun nilai rata-rata antara hasil pengolahan algoritma PM₁₀ dengan hasil pengukuran Dinas Lingkungan Hidup berbeda, namun setelah dilakukan konversi sesuai dengan PermenLHK No. 14 Tahun 2020 masih sesuai karena berada pada satu kategori ISPU yang sama yakni “baik”. Untuk parameter SO₂, kategori ISPU pengolahan citra yang sesuai dengan kategori ISPU dari DLH hanya pada tanggal 27 April 2021 dan 22 April 2022. Namun untuk hasil parameter NO₂ tidak sesuai dengan pengukuran Dinas Lingkungan Hidup karena berada pada kategori yang berbeda.

V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk mempermudah dan memperbaiki penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Titik stasiun AQMS lebih banyak sehingga dapat digunakan untuk validasi data.
2. Citra yang digunakan adalah citra yang bebas awan agar nilai awan tidak terhitung ke dalam algoritma.
3. Menambahkan parameter zat polutan lain seperti karbon monoksida (CO) dan ozon (O₃) serta menambahkan parameter *Aerosol Optical Depth* (AOD) dalam menentukan PM₁₀.
4. Mempertimbangkan arah angin dan curah hujan dalam menganalisis data.
5. Dilakukan validasi lapangan untuk menguji hasil pengolahan algoritma sehingga data yang dihasilkan lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, J., & Hasibuan, F. A. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau IV (SNFUR-4)*, September, 1–7.

Alseroury, F. A. (2015). The Effect Of Pollutants On Land Surface Temperature Around Power Plant. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 3(11), 17–21.

Dede, M., Widiawaty, M. A., Nurhanifah, N., Ismail,

- A., Artati, A. R. P., Ati, A., & Ramadhan, Y. R. (2020). Estimasi Perubahan Kualitas Udara Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh Di Sekitar PLTU Cirebon. *Jambura Geoscience Review*, 2(2), 78–87. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v2i2.5951>
- Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Satu Pintu Provinsi Jawa Tengah. (2019). *Kawasan Industri Bukit Semarang Baru*. <https://ppid.dpmpstsp.jatengprov.go.id/sarpras/1/24>
- Dzulfikri, M. R. (2021). Implementasi Kebijakan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat Darurat Covid-19 di Kota Surabaya. *Dinamika Governance : Jurnal Ilmu Administrasi Negara*, 11(2), 294–310. <https://doi.org/10.33005/jdg.v11i2.2767>
- Fawzi, N. I., & Husna, V. N. (2021). Sebuah Teori dan Teknik Pemrosesan Tingkat Dasar. In *ResearchGate* (Vol. 2, Issue 6). PENERBIT EL MARKAZI.
- Frontiers. (2023). *Air Pollution remote Sensing and the Subsequent Interactions with Ecology on Regional Scales*. <https://www.frontiersin.org/research-topics/43950/air-pollution-remote-sensing-and-the-subsequent-interactions-with-ecology-on-regional-scales---volume-ii#overview>
- Habinuddin, E. (2021). Identifikasi Autokorelasi Spasial pada Penyebaran Penyakit DBD di Kota Bandung. *SIGMA-Mu*, 12(1), 7–15.
- Hardianto, A., Dewi, P. U., Feriansyah, T., Sari, N. F. S., & Rifiana, N. S. (2021). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung). *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 2(1), 8–15. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i1.38>
- Indiati. (2022). Kebijakan Pemerintah Tentang Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) Dalam Masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Ilmiah Muqoddimah: Jurnal Ilmu Sosial, Politik Dan Hummanioramania*, 6(2), 508. <https://doi.org/10.31604/jim.v6i2.2022.508-514>
- KemenLHK. (2020). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara. In *Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*.
- Kumar, A., Ratnam, R., & Krishna, A. P. (2021). *Detection of Coal Mine Fire Using Landsat-8 OLI/TIRS Satellite Data in Ramgarh and Hazaribagh Coalfields, India*. 451–464. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76116-5_23
- Lutfi, A., Aidid, M. K., & Sudarmin. (2019). Identifikasi Autokorelasi Spasial Angka Partisipasi Sekolah di Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Indeks Moran. *Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.35580/variansi.v1i2.9354>
- Othman, N., Mat Jafri, M. Z., & San, L. H. (2010). Estimating Particulate Matter Concentration over Arid Region Using Satellite Remote Sensing: A Case Study in Makkah, Saudi Arabia. *Modern Applied Science*, 4(11). <https://doi.org/10.5539/mas.v4n11p131>
- Prabowo, K., & Muslim, B. (2018). *Penyehatan Udara* (Edisi Pert). Kemenkes RI.
- Presiden Republik Indonesia. (1999). PP RI No 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. In *Peraturan Pemerintah No. 41 tentang Pengendalian Pencemaran udara*.
- Rita, R., Dwiana Lestiani, D., Hamonangan Panjaitan, E., Santoso, M., & Yulinawati, H. (2016). Kualitas Udara (Pm10 Dan Pm2.5) Untuk Melengkapi Kajian Indeks Kualitas Lingkungan Hidup. *Jurnal Ecolab*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.20886/jklh.2016.10.1.1-7>
- Solihin, M. A., & Putri, N. (2020). Keragaman Penggunaan Lahan Eksisting di Hulu Sub DAS Cikapundung Berdasarkan Indeks Vegetasi dan Temperatur Permukaan Lahan. *Agrikultura*, 31(3), 255. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i3.29467>
- USGS. (2015). *Landsat 8*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- USGS. (2022). *Landsat 9*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>
- Viedra, G. G. Z., & Sukojo, B. M. (2023). Analysis of The Effect of Deforestation Rates on Air Pollution Concentration and Land Surface Temperature Using Landsat-8 Imagery with Google Earth Engine (Case Study: East Kalimantan Province, 2019-2020). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1127(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012032>