

Analisis Perubahan Kualitas Udara di Kawasan PLTU Teluk Sirih Kota Padang Menggunakan Remote Sensing

Yulianita Yulianita¹, Novelisa Suryani², Heny Mariati³

¹Universitas Tamansiswa Padang, Padang, Indonesia. Email: yulianita0799@gmail.com

²Universitas Tamansiswa Padang, Padang, Indonesia. Email: novel2813@gmail.com

³Universitas Tamansiswa Padang, Padang, Indonesia. Email: heny.mariati@gmail.com

Artikel Diterima: (07 Juli 2022)

Artikel Direvisi: (19 September 2022)

Artikel Disetujui: (07 Desember 2022)

ABSTRACT

One of the impacts of PLTU development is air pollution. The study aims to analyze the average and identify changes in air quality in 2013 (before the power plant operates) and 2020 (after the power plant operates) in Bungus Teluk Kabung District by descriptive quantitative analysis. Changes in air quality were analyzed by Landsat 8 satellite images in 2013 and 2020 with parameters were PM_{10} , SO_2 and NO_x . The average value of the parameter is calculated based on the air quality algorithm, and to measure changes in air quality standards apply ISPU. The results showed an average improvement in all air quality parameters. Based on the ISPU distribution of PM_{10} values increased by $1 \mu g/m^3$, in 2013 the average value ($1.9 \mu g/m^3$), in 2020 it became ($2.9 \mu g/m^3$), included in the good category. SO_2 values in the medium category with an increase of 0.7 ppm, in 2013 (63.3 ppm) and in 2020 (64 ppm). NO_x is in the unhealthy category with an increase of $0.1 \mu g/m^3$, in 2013 ($173.5 \mu g/m^3$) and in 2020 ($173.6 \mu g/m^3$). The results of the wilcoxon difference test showed that all air quality parameters had a significant value of < 0.05 , meaning that there was a significant difference in air quality before and after the power plant was built. The PLTU is expected to immediately minimize the smoke produced by burning coal using Clean Coal Technology.

Keywords: Air Quality, PLTU, Remote Sensing

ABSTRAK

Salah satu dampak pembangunan PLTU adalah pencemaran udara disekitar kawasan. Penelitian ini bertujuan menganalisis rata-rata dan mengidentifikasi perubahan kualitas udara tahun 2013 (sebelum PLTU beroperasi) dan 2020 (setelah PLTU beroperasi) di Kecamatan Bungus Teluk Kabung dengan metode analisis deskriptif kuantitatif. Perubahan kualitas udara dianalisis menggunakan citra satelit Landsat 8 tahun 2013 dan tahun 2020 dengan parameter PM_{10} , SO_2 dan NO_x . Nilai rata-rata parameter dihitung berdasarkan algoritma kualitas udara dan perubahan standar kualitas udara menggunakan ISPU. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya peningkatan rata-rata pada semua parameter kualitas udara. Berdasarkan ISPU distribusi nilai PM_{10} meningkat sebesar $1 \mu g/m^3$, pada tahun 2013 nilai rata-ratanya ($1,9 \mu g/m^3$), tahun 2020 menjadi ($2,9 \mu g/m^3$), termasuk dalam kategori baik. Nilai SO_2 pada kategori sedang dengan peningkatan sebesar 0,7 ppm, pada tahun 2013 (63,3 ppm) dan tahun 2020 (64 ppm). NO_x berada pada kategori tidak sehat dengan peningkatan $0,1 \mu g/m^3$, pada tahun 2013 ($173,5 \mu g/m^3$) dan tahun 2020 ($173,6 \mu g/m^3$). Hasil uji beda wilcoxon, menunjukkan semua parameter kualitas udara memiliki nilai signifikan $< 0,05$, artinya terdapat perbedaan yang signifikan terhadap kualitas udara sebelum dan sesudah PLTU dibangun. Pihak PLTU diharapkan segera meminimalisir asap pembakaran batu bara yang dihasilkan menggunakan teknologi batu bara bersih.

Kata kunci: kualitas udara, PLTU, remote sensing

Penulis Koresponden:

Nama : Heny Mariati

Email : heny.mariati@gmail.com

Pendahuluan

Kualitas udara yang bersih yaitu udara yang bebas dari berbagai kandungan zat yang tidak dibutuhkan oleh tubuh manusia, dengan karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, terasa sejuk, dan tidak mempunyai kandungan padat seperti debu (Fatma, 2016). Namun kualitas udara saat ini menjadi persoalan global, karena udara telah tercemar akibat aktivitas manusia dan proses alam. Pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrak fisik atau kimia kedalam lingkungan udara normal yang mencapai jumlah tertentu, sehingga dapat dideteksi oleh manusia, binatang, vegetasi dan material. Pencemaran udara terjadi karena beberapa faktor, yaitu adanya sumber bahan pencemar yang mengeluarkan emisi polutan dan interaksi bahan pencemar di atmosfer yang menyebabkan turunnya kualitas udara serta menimbulkan akibat negatif pada manusia dan lingkungan (Prabowo & Muslim, 2018).

Salah satu pembangkit listrik dengan energi batubara yang berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan dan menjadi perhatian yaitu PLTU Cirebon yang saat ini memiliki 2 (dua) unit pembangkit serta diklaim sebagai pelopor teknologi batubara bersih. Pembangunan dan operasional PLTU di dekat pantai turut mengubah morfologi pesisir dan lingkungan sekitarnya yang memicu reaksi dari masyarakat baik berdampak pada tanah, air, maupun udara (Dede et al., 2020). Kelemahan utama PLTU batubara adalah pencemaran emisi karbonnya yang sangat tinggi, paling tinggi dibanding bahan bakar lain (Tobuhu et al., 2015). Pencemaran udara tersebut dapat merusak biota lautan dan pantai di sekitar PLTU, menurunkan intensitas curah hujan, memicu pemanasan global serta menimbulkan kerusakan alam dan jalan-jalan utama (Zulfasari, 2019; Prabandari & Rengga, 2018). Sampai tahun 2017, partikel-partikel polutan yang sangat berbahaya tersebut mengakibatkan kematian dini sekitar 6.500 jiwa pertahun di Indonesia. Estimasi angka tersebut diperkirakan akan melonjak menjadi sekitar 15.700 jiwa/tahun seiring dengan rencana pembangunan PLTU batubara baru (Ulita, 2017).

Pembangkit listrik selanjutnya yang berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan adalah PLTU Teluk Sirih yang merupakan pembangkit listrik terbesar di Sumatera Barat dan termasuk pembangkit listrik tenaga uap berbahan batubara. PLTU berada pada lahan seluas ± 51 ha di atas kawasan hutan lindung. PLTU Teluk Sirih dibangun pada tahun 2008 dan mulai beroperasi secara komersial ditahun 2014 (Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia, 2018). Menurut penuturan masyarakat di sekitar PLTU Teluk Sirih, dampak lingkungan yang secara umum yaitu keadaan suhu udara yang semakin panas dan aktivitas kendaraan pengangkut kebutuhan PLTU yang menghasilkan *fly ash* (abu terbang).

Disamping itu, berdasarkan regulasi AMDAL, maka skala usaha PLTU Teluk Sirih termasuk yang wajib melaksanakan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL). Hal ini sesuai Keputusan Walikota Padang Nomor 5 Tahun 2014 tentang Kelayakan Lingkungan Hidup AMDAL (ANDAL RKL-RPL). Kegiatan PLTU Teluk Sirih - Sumbar 2 x 112 MW di Kelurahan Teluk Kabung Tengah, Kecamatan Bungus Teluk Kabung Kota, Padang Sumatera Barat, merupakan kegiatan yang wajib memiliki AMDAL. Lebih lanjut dalam keputusan tersebut dijelaskan alasan perlunya menyusun AMDAL karena pembangunan PLTU berpotensi menimbulkan dampak pada aspek fisik kimia, terutama pada kualitas udara (emisi ambient dan kebisingan) dan kualitas air (ceceran minyak pelumas, limbah bahan berbahaya dan beracun) serta air tanah, aspek sosial, ekonomi dan budaya terutama pada pembebasan lahan dan keresahan masyarakat. Berdasarkan kondisi tersebut maka dilakukan penelitian yang

bertujuan untuk menganalisis rata-rata dan mengidentifikasi perubahan kualitas udara pada tahun 2013 sebelum PLTU beroperasi dengan tahun 2020 setelah PLTU beroperasi.

Penelitian ini penting dilakukan mengingat besarnya dampak yang ditimbulkan oleh PLTU sebagaimana yang diuraikan di atas. Hal lain yang mendasari dilakukannya penelitian ini adalah masih sedikitnya perusahaan yang memperhatikan dampak lingkungan akibat proses produksinya sebagaimana dinyatakan Idamiharti & Darlis (2017) bahwa perusahaan mengalami kesulitan dalam mengenal dan mengidentifikasi kerusakan lingkungan yang ditimbulkannya.

Perubahan kualitas udara dapat diketahui melalui pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh sebagai bagian dari monitoring lingkungan yang diolah menggunakan remote sensing. Citra satelit penginderaan jauh multi-spektral memiliki beberapa sensor yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan monitoring lingkungan oleh pengguna. Keunggulannya adalah citra menggambarkan objek, daerah, dan gejala di permukaan bumi dengan wujud dan letak objek yang mirip dengan wujud dan letak objek yang sebenarnya di permukaan bumi, relatif lengkap, meliputi daerah luas, dan sifatnya permanen. Dengan demikian citra merupakan alat yang baik untuk pembuatan peta, baik sebagai sumber data maupun sebagai kerangka letak (Suryantoro & Puspita Wulandari, 2013)..

Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Pengumpulan data menggunakan metode dokumentasi dengan mengunduh 2 (dua) citra satelit melalui situs internet yaitu *United States Geological Survey* (USGS). Parameter penilaian indikator kualitas udara meliputi debu/partikulat matter (PM¹⁰), sulfur dioksida (SO₂) dan Nitrogen Oksida (NO_x) (Dede et al., 2020) dengan memanfaatkan citra satelit Landsat 8 periode waktu 2013 dan 2020. Untuk mengetahui nilai dari parameter dihitung berdasarkan algoritma kualitas udara (Tabel 1).

Sebelum menerapkan algoritma kualitas udara, tiap band citra satelit penginderaan jauh harus melalui serangkaian tahapan pengkoreksian secara radiometrik dan atmosferik, dimana proses pengolahan citra dilakukan dengan *software* ArcGis 10.3 sehingga diperoleh rata-rata maksimum dan minimum kualitas udara tahun 2013 dan 2020. Berikut tahapan pengkoreksian citra satelit landsat:

1. Kalibrasi Radiometrik. Koreksi radiometrik TOA dilakukan melalui dua tahap, yaitu sebagai berikut (Dewanti & Lolitasari, 2014):

- 1) Mengkonversi nilai DN ke nilai spektral radian (Kalibrasi Sensor).

$$L\lambda = \frac{(L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda})}{(Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}})} \times (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) + L_{\min\lambda}$$

Keterangan:

$L\lambda$ = ToA *Spectral Radiance* ($\text{Watts}/(\text{m}^2 \cdot \text{srad} \cdot \mu\text{m})$); Q_{cal} = *Quantized and calibrated standar product pixel values* (DN); L_{\min} = nilai *RADIANCE_MINIMUM_BAND_.*; L_{\max} = nilai (*RADIANCE_MINIMUM_BAND_.*); Q_{calMin} = nilai (*QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_.*); Q_{calMax} = nilai (*QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_.*)

- 2) Mengkonversi nilai spektral radian ke nilai spektral reflektan (Reflektan ToA)

$$\rho_p = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{ESUN_\lambda * \cos(\theta_s)}$$

Keterangan:

ρ_p : Planetary reflectance; L_λ : *spectral radiance at sensor's aperture* (citra radiance at sensor yang akan di koreksi ToA reflectance); $ESUN_\lambda$: *band dependent mean solar exoatmospheric irradiance*; θ_s : *solar zenith angle*; $\theta_s = (90^\circ - \text{sudut elevasi matahari}) * (\pi/180)$; d : *earth-sun distance, in astronomical units* (jarak bumi - matahari); π : 3,14159

2. Koreksi Atmosferik (Reflektan BoA) (Akbari, 2016)

$$R_c = R - (\text{Mean } R_w - (2 \times \text{StdDev} R_w))$$

Keterangan:

R_c = *Surface reflectance* (Reflektansi BoA ban); R = *TOA Reflectance*; R_w = *Reflectance* tubuh air dalam dan jernih (tanpa sunlight dan sediment); Mean = *Rerata*; StDev = *Stander deviasi*

Tabel 1. Algoritma Kualitas Udara

Parameter	Citra Satelit	Algoritma	R ²
PM ₁₀	Landsat-8 OLI	Othman et al. (2010) $PM_{10} = (96 \times BR\rho) + (253 \times BG\rho) - (194 \times BB\rho)$ Dimana: PM ₁₀ = partikulat aerosol (µg/m ³) BRρ = reflektansi BoA band merah (red) BGρ = reflektansi BoA band hijau (green) BBρ = reflektansi BoA band biru (blue).	0.79
SO ₂	Landsat-8 OLI	Hasan et al. (2014) $SO_2 = 0,0117T^3 - 0,3282T^2 + 2,837T - 6,4733$ Dimana: SO ₂ = kandungan sulfur dioksida di uadara (ppm) T = nilai suhu pada thermal band (Celcius).	0.52
NO _x	Landsat-8 OLI	Alseroury (2015) $NO_x = 163,88 + 0,3908 \times T$ Dimana: NO _x = konsentrasi gas nitrogen oksida (µg/m ³) dan nilai suhu pada thermal band (Celcius).	0.93

Sumber: Dede et al., 2020

Menurut Mariati (2014), sebelum menentukan kadar SO₂ dan NO_x, terlebih dahulu dicari nilai suhu (T) permukaan karena terdapat hubungan antara SO₂ dan NO_x dengan suhu permukaan daratan. Suhu permukaan dapat dijadikan indikator terjadinya pencemaran udara di suatu wilayah terutama yang disebabkan oleh SO₂ dan NO_x, dan begitu juga sebaliknya. Untuk mencari nilai suhu permukaan dilakukan perhitungan *spectral radiance* (L_λ) dan *temperature brightness* (T_b), dengan menghitung suhu kecerahan yang diperoleh dari persamaan yang mengikuti hukum Planck dinyatakan dengan:

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Dimana: L_λ = TOA spektral radiance ($Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$); T_b = suhu kecerahan (°K); K_1 = Konstanta radiasi pertama Landsat 8 band 11 ($480.89 Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$); K_2 = konstanta radiasi kedua Landsat 8 band thermal (1201.14 K). Selanjutnya dilakukan konversi nilai suhu kecerahan menjadi nilai suhu permukaan. Untuk mendapatkan suhu permukaan dari citra Landsat UTM, perlu dikoreksi dengan emisivitas benda melalui persamaan:

$$T_s = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda T_B}{\delta}\right) \text{Ln} \varepsilon}$$

Dimana:

T_s = suhu permukaan yang terkoreksi (K); T_b = Temperatur Brightness (K); λ = panjang gelombang radiasi emisi (11.5 μm); $\delta = hc/\sigma$ (1.438×10^{-2} m K); h = Konstanta Planck (6.26×10^{-34} J sec); c = kecepatan cahaya (2.998×10^8 m sec^{-1}); ε = emisivitas objek, untuk badan air: 0.98, RTH : 0.95, non-RTH : 0.92; σ = konstanta Stefan Boltzman (1.38×10^{-23} JK^{-1})

Setelah melakukan analisis kualitas udara selanjutnya dilakukan analisis uji beda menggunakan *software* SPSS. Untuk tiap-tiap parameter kualitas udara dilakukan uji normalitas data, sebagai dasar pengambilan keputusan untuk analisis yang akan digunakan pada tahap selanjutnya. Pada penelitian ini analisis uji beda yang digunakan untuk tahap selanjutnya menggunakan uji Wilcoxon yang berfungsi untuk membandingkan 2 (dua) sampel dan mencari signifikansi perbedaan antara 2 (dua) kelompok berpasangan. Data yang digunakan berupa skala nominal, ordinal dan termasuk ke dalam statistik non-parametrik (Simanjuntak, 2020). Dalam menentukan standar kualitas udara pada setiap hasil pengukuran parameter, digunakan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU).

Hasil dan Pembahasan

1. Rata-rata Kualitas Udara Tahun 2013 dan 2020 di Kecamatan Bungus Teluk Kabung

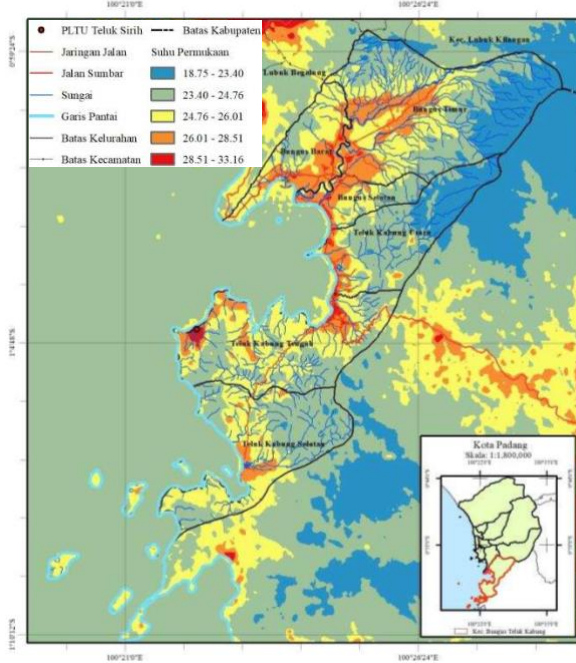
Berdasarkan tendensi sentral parameter kualitas udara pada Tabel 3 untuk konsentrasi partikulat (PM_{10}) nilai rata-rata yang diperoleh tahun 2013 adalah 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan tahun 2020 sebesar 2,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan untuk menganalisis konsentrasi SO_2 dan NO_x terlebih dahulu mencari nilai suhu permukaan (T), karena jika suatu wilayah memiliki konsentrasi SO_2 dan NO_x cukup tinggi, maka mampu memicu suhu permukaan daratan di sekitarnya menjadi semakin tinggi. Tabel 2 menunjukkan nilai suhu rata-rata padat tahun 2013 dan 2020. Berdasarkan nilaisuhu yang diperoleh maka didapat nilai rata-rata konsentrasi SO_2 pada tahun 2013 yaitu 63,3 ρpm dan pada tahun 2020 sebesar 64 ρpm . Nilai rata-rata konsentrasi NO_x pada tahun 2013 adalah 173,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan pada tahun 2020 sebesar 173,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Suhu Tahun 2013 dan 2020

Tahun	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)		Rata-rata
	Minimal	Maximal	
2013	18.7	33.2	24.5
2020	16.1	36.8	24.8

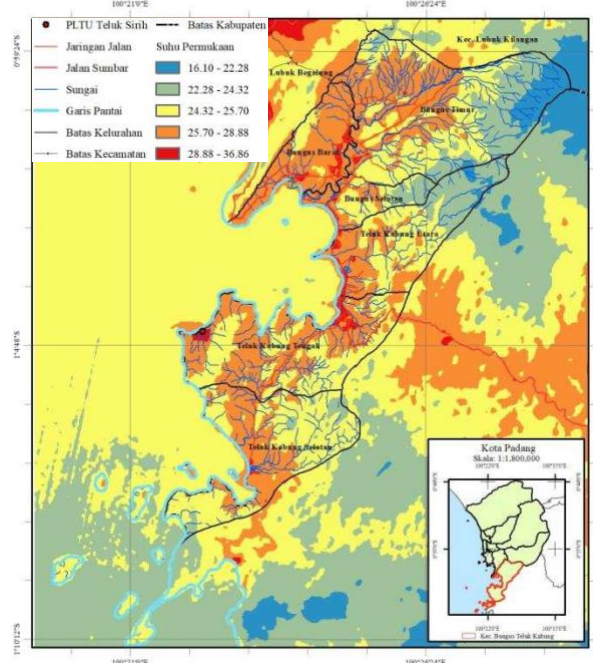
Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Gambar 1. Peta Suhu Permukaan (T) di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih Tahun 2013



Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Gambar 2. Peta Suhu Permukaan (T) di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih Tahun 2020



Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

3. Perubahan Kualitas Udara Tahun 2013 dan 2020 di Kecamatan Bungus Teluk Kabung

Hasil analisis parameter kualitas udara di Kecamatan Bungus Teluk Kabung berdasarkan citra Landsat 8 tahun 2013 dan tahun 2020, diperoleh tendensi sentral sesuai dengan kriteria penilaian kualitas udara berdasarkan ISPU pada tiap-tiap parameter. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 3. Tendensi Sentral Parameter Kualitas Udara Pada Tahun 2013 di PLTU Teluk Sirih

Parameter Kualitas Udara	Tahun 2013				Indeks Standar Pencemaran Udara	Kategori
	Min	Max	Mean	Rentang		
PM ₁₀ (µg/m ³)	-28,4	67	1,9	95,4	1-50	Baik
SO ₂ (ppm)	46,7	87,7	63,3	41	51-100	Sedang
NO _x (µg/m ³)	171,2	176,8	173,5	5,6	101-199	Tidak sehat

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Tabel 4. Tendensi Sentral Parameter Kualitas Udara Pada Tahun 2020 di PLTU Teluk Sirih

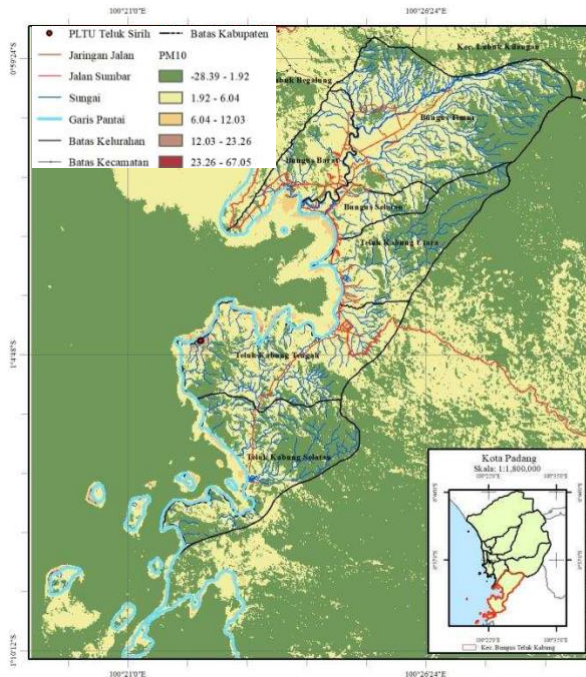
Parameter Kualitas Udara	Tahun 2020				Indeks Standar Pencemaran Udara	Kategori
	Min	Max	Mean	Rentang		
PM ₁₀ (µg/m ³)	-27,9	80	2,9	107,9	1-50	Baik
SO ₂ (ppm)	39,2	98,1	64	58,9	51-100	Sedang
NO _x (µg/m ³)	170,2	178,3	173,6	8,1	101-199	Tidak sehat

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 di atas, tendensi sentral parameter kualitas udara tahun 2013 dan 2020 terjadi peningkatan kadar konsentrasi pada semua parameter. Konsentrasi PM₁₀ mengalami peningkatan sebesar 1 µg/m³. Pada Gambar 3 dan 4, terjadi peningkatan konsentrasi PM₁₀ di PLTU, dimana pada tahun 2013 nilai maximumnya sebesar 21,21 µg/m³, dan pada tahun 2020 terjadi kenaikan menjadi 33,29 µg/m³. Kenaikan konsentrasi PM₁₀ di lingkungan

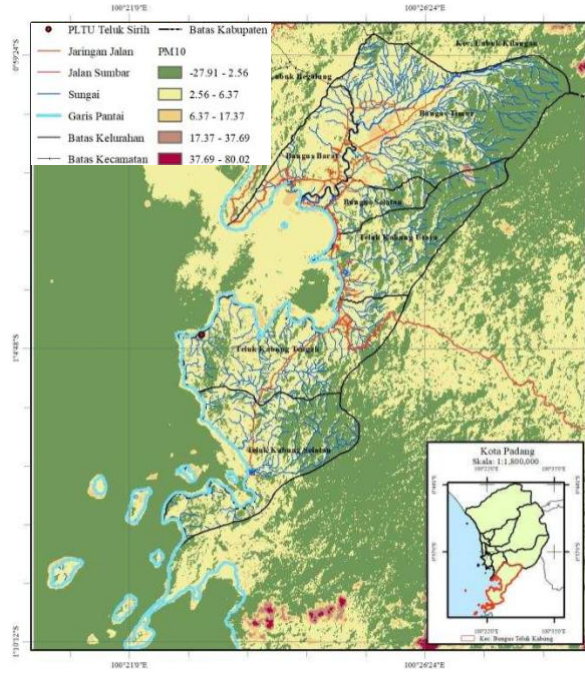
PLTU menandakan PLTU Teluk Sirih mengalami proses pembakaran yang kurang sempurna pada pembangkit akibat pemakaian batubara serta tidak efektifnya sistem pengendalian emisi dalam mengeliminasi PM¹⁰. Pada Tabel 3 dan 4 terlihat bahwa nilai rata-rata konsentrasi PM¹⁰ menjadi nilai rata-rata kadar terendah dibandingkan dengan parameter lainnya. Konsentrasi PM¹⁰ pada wilayah dengan suhu dan kelembaban udara yang tinggi akan membentuk absorpsi dengan uap air yang menyebabkannya mudah jatuh ke permukaan baik ke tanah, bangunan, maupun tumbuhan (Kayes et al., 2019).

Gambar 3. Peta Konsentrasi PM¹⁰ di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih 2013



Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Gambar 4. Peta Konsentrasi PM¹⁰ di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih Tahun 2020



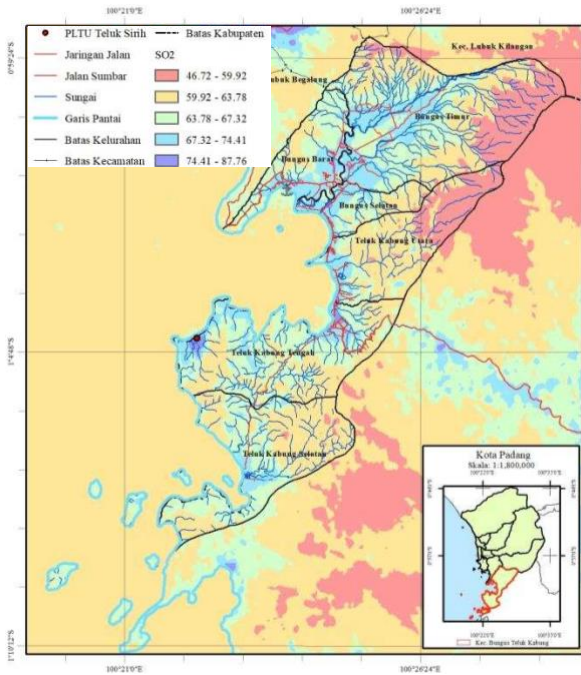
Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Berdasarkan data konsentrasi PM¹⁰ pada tiap-tiap pixel, konsentrasinya <math><10\mu\text{g}/\text{m}^3</math> jauh lebih besar dibandingkan konsentrasinya >math>>10\mu\text{g}/\text{m}^3</math>. Berdasarkan rata-ratanya sesuai nilai ISPU, konsentrasi PM¹⁰ berada pada angka 1-50 dengan kategori baik. kualitas udara yang baik berdasarkan ISPU, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan.

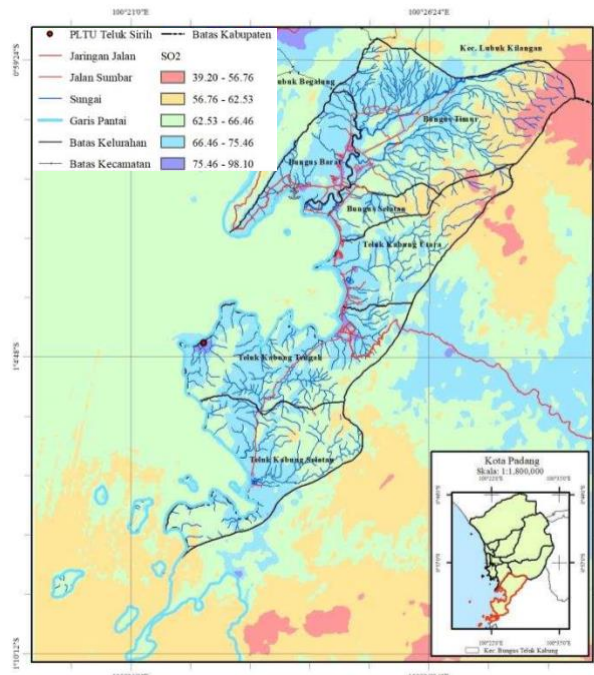
Berdasarkan hasil analisis, terjadi peningkatan nilai kadar SO₂ di PLTU sebesar 0,7 ppm, dimana pada tahun 2013 nilai maximum konsentrasi SO₂ yaitu 83,23 ppm, dan pada tahun 2020 menjadi 84,24 ppm. Hal tersebut menandakan bahwa tidak berjalannya sistem pengendalian emisi dengan baik di PLTU Teluk Sirih dan tentunya akan mempengaruhi konsentrasi SO₂ di Kecamatan Bungus Teluk Kabung. Pada penelitian (Dede et al., 2020) di PLTU Cirebon yang diklaim sebagai pelopor teknologi batubara bersih, diketahui nilai rata-rata perbandingan konsentrasi SO₂ tahun 2004 dan 2019 yaitu 41,18 ppm dan 33,88 ppm, terjadi penurunan konsentrasi SO₂ sebesar 7,3 ppm dimana nilai rata-rata konsentrasi SO₂ pada PLTU Cirebon masih jauh dibandingkan dengan rata-rata konsentrasi SO₂ di PLTU Teluk Sirih. Rendahnya konsentrasi SO₂ setelah operasional PLTU Cirebon menandakan sistem pengendalian emisinya berjalan dengan baik.

Gambar 5. Peta Sebaran Konsentrasi SO₂ di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih Tahun 2013

Gambar 6. Peta Sebaran Konsentrasi SO₂ di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih Tahun 2020



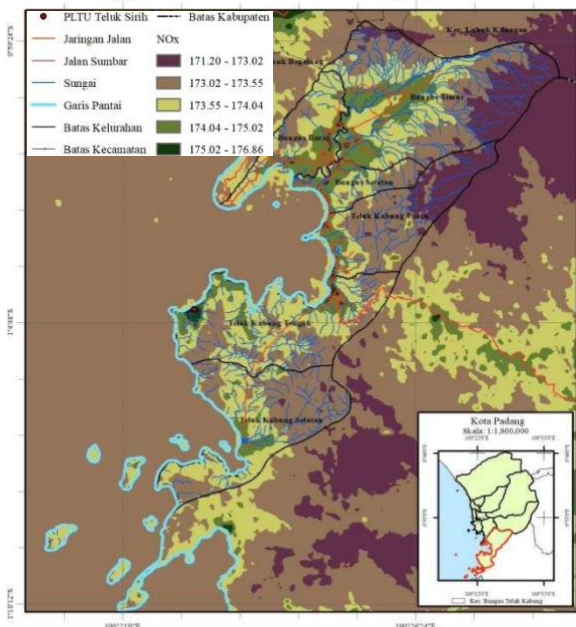
Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021



Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

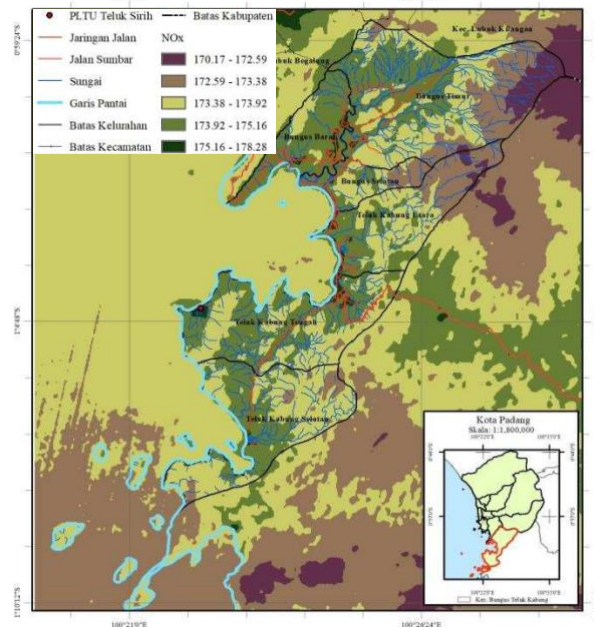
Berdasarkan ISPU, konsentrasi SO_2 pada tahun 2013 dan tahun 2020 berada pada angka 51-100 dengan kategori sedang. Indeks pencemaran udara dengan kategori sedang memiliki tingkat kualitas udara yang masih dapat diterima bagi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.

Gambar 7. Peta Sebaran Konentarsi NO_x di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih Tahun 2013



Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Gambar 8. Peta Sebaran Konsentrasi NO_x di Sekitar Kawasan PLTU Teluk Sirih Tahun 2020



Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 terlihat bahwa terjadi kenaikan kadar konsentrasi NO_x sebesar $0.1 \mu g/m^3$. Terjadinya kenaikan konsentrasi NO_x di PLTU Teluk Sirih dapat dilihat bahwa pada tahun 2013 nilai maximumnya sebesar $173,5 \mu g/m^3$, dan pada tahun 2020 menjadi $173,6 \mu g/m^3$.

Berdasarkan ISPU, nilai rata-rata konsentrasi NO_x berada pada angka 101-199 dengan kategori tidak sehat. Sejalan dengan penelitian (Muhtar et al., 2021) terkait Covid-19 yang berdampak pada transformasi kualitas udara berdasarkan citra satelit Landsat di Kota Makassar, dengan nilai konsentrasi yang tidak jauh berbeda dengan kawasan PLTU Teluk Sirih, dimana distribusi nilai NO_x terendah adalah $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan tertinggi sebesar $177 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yang berasal dari kawasan pemukiman, industri, dan pembangkit listrik.

Berdasarkan nilai ISPU, kualitas udara berada pada kategori tidak sehat sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan, kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Dampak terhadap lingkungan adalah terjadinya hujan asam, yang menurunkan tingkat kesuburan tanah, mengasamkan danau dan aliran sungai sehingga hal ini akan mengancam kehidupan biota air. Hujan asam juga dapat mempercepat korosi pada bangunan sehingga dapat mengurangi kekuatannya. Selain itu kadar NO_x dapat mempengaruhi daun pada tanaman, seperti terjadinya bintik-bintik dan nekrosis atau kerusakan tenunan daun, sedangkan dampak kadar NO_x terhadap kesehatan manusia adalah dapat menimbulkan kesulitan bernafas, iritasi pada paru-paru dan infeksi saluran pernafasan terutama pada penderita saluran pernafasan seperti asma (Handoko, 2020).

Berdasarkan hasil analisis dan peta parameter-parameter kualitas udara dapat diketahui bahwa peningkatan konsentrasi parameter kualitas udara di Kecamatan Bungus Teluk Kabung memang dipengaruhi oleh PLTU Teluk Sirih karena pada kawasan khusus PLTU itu sendiri terjadi peningkatan pada semua parameter. Namun di Kecamatan Bungus Teluk Kabung yang menyumbang kadar PM_{10} , SO_2 , dan NO_x tidak hanya dari PLTU, karena juga menyebar di kawasan pemukiman dan industri. Hal ini disebabkan oleh tingginya aktivitas transportasi, seperti aktivitas kendaraan pengangkut kebutuhan proyek PLTU Teluk Sirih, bertambahnya cabang PT Pertamina yaitu terminal LPG Teluk Kabung yang mensuplai ke seluruh daerah di Sumatera Barat sejak tahun 2015 dan adanya penambahan penduduk yang diikuti dengan pertumbuhan transportasi yang secara otomatis akan meningkatkan aktivitas transportasi di Kecamatan Bungus Teluk Kabung. Hal tersebut dapat dibuktikan bahwa untuk estimasi emisi partikulat (PM^{10}) sebagian besar berasal dari pembakaran batubara, proses industri, kebakaran hutan, gas buangan alat transportasi, sedangkan SO_2 (sulfur dioksida) banyak dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur, misalnya minyak, solar, gas dan batubara (Salim, 2014). Selanjutnya NO_x merupakan emisi gas buang yang berasal dari aktivitas kendaraan transportasi, aktivitas pembakaran, seperti sistem dalam mesin, sekaligus dikeluarkan oleh PLTU batubara bersama dengan gas SO_x , keduanya merupakan penyebab terjadinya hujan asam, terutama yang menggantungkan produksi listriknya dari PLTU batubara (Kusman & Utomo, 2017).

3.1. Uji Beda

Selain menganalisis tendensi sentral (min, max, dan mean) data kualitas udara, untuk mengetahui signifikansi perubahan, dilakukan uji beda. Untuk tiap-tiap parameter kualitas udara dalam penelitian ini memerlukan uji normalitas data, sebagai dasar pengambilan keputusan untuk analisis yang akan digunakan pada tahap selanjutnya. Pada penelitian ini analisis uji beda yang digunakan untuk tahap selanjutnya yaitu uji Wilcoxon, dimana uji ini berfungsi untuk membandingkan 2 (dua) sampel dan mencari signifikansi perbedaan antara 2 (dua) kelompok berpasangan. Data yang digunakan berupa skala nominal, ordinal dan termasuk

ke dalam statistik non-parametrik (Simanjuntak, 2020). Hasil uji normalitas data dan uji Wilcoxon pada semua parameter kualitas udara dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut:

Tabel 5. Uji Normalitas Data Parameter Kualitas Udara Pada Tahun 2013 dan 2020 di PLTU Teluk Sirih

Uji Normalitas Data							
Parameter Kualitas Udara Tahun 2013	Statistik	df	Sig	Parameter Kualitas Udara Tahun 2020	Statistik	df	Sig
PM ₁₀	0.055	94495	0.000	PM ₁₀	0.059	94495	0.000
SO ₂	0.045	94495	0.000	SO ₂	0.061	94495	0.000
NO _x	0.048	94495	0.000	NO _x	0.064	94495	0.000

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Tabel 6. Uji Wilcoxon Parameter Kualitas Udara Pada Tahun 2013 dan 2020 di PLTU Teluk Sirih

Uji Wilcoxon		
Parameter Kualitas Udara Tahun 2013 dan 2020	Z	Signifikan
PM ₁₀	-64.498 ^b	0.000
SO ₂	-210.514 ^b	0.000
NO _x	-210.514 ^b	0.000

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2021

Berdasarkan Tabel 5, pada analisis uji normalitas untuk konsentrasi parameter-parameter kualitas udara (PM¹⁰, SO₂, dan NO_x) adalah 0.000. Apabila nilai signifikansi <0.05 maka data tersebut termasuk ke dalam statistik non-parametrik. Selanjutnya hasil uji beda wilcoxon Tabel 6 pada parameter-parameter kualitas udara (PM¹⁰, SO₂, dan NO_x) dapat diketahui bahwa semua parameter kualitas udara pada tahun 2013 dan 2020 memiliki nilai signifikansi <0.05, artinya terdapat perbedaan yang signifikan sehingga hipotesis dalam analisis penelitian dapat diterima. Sesuai dengan hasil analisis kualitas udara, bahwa memang terdapat perbedaan pada nilai tendensi parameter kualitas udara, dimana rata-rata pada konsentrasi PM¹⁰ tahun 2013 sebesar 1,9 µg/m³ dan tahun 2020 sebesar 2,9 µg/m³. Untuk konsentrai SO₂ juga terdapat perbedaan nilai rata-rata, yaitu pada tahun 2013 sebesar 63,3 ppm dan tahun 2020 sebesar 64 ppm. Sedangkan konsentrasi NO_x terdapat perbedaan rata-rata, dimana tahun 2013 sebesar 173,5 µg/m³ dan tahun 2020 sebesar 173,6 µg/m³.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan yaitu rata-rata kualitas udara pada tahun 2013 dan 2020 di Kecamatan Bungus Teluk Kabung, dimana konsentrasi PM¹⁰ pada tahun 2013 sebesar 2.3 µg/m³, sedangkan pada tahun 2020 sebesar 2.6 µg/m³. Rata-rata konsentrasi SO₂ pada tahun 2013 adalah 63.9 ppm dan tahun 2020 sebesar 65.9 ppm. Sedangkan rata-rata konsentrasi NO_x pada tahun 2013 adalah 173.5 µg/m³ dan tahun 2020 sebesar 173.6 µg/m³.

Untuk perubahan kualitas udara pada tahun 2013 dan 2020, konsentrasi PM¹⁰ pada tahun 2013 dan 2020 masih sama-sama berada pada angka 1-50 dengan kategori baik. Konsentrasi SO₂ berdasarkan nilai rata-rata sesuai dengan ISPU pada tahun 2013 dan 2020 masih sama-sama berada pada angka 51-100 dengan kategori sedang. Sedangkan konsentrasi NO_x berdasarkan nilai rata-rata sesuai ISPU pada tahun 2013 dan 2020 masih sama-sama berada pada angka 101-199 dengan kategori tidak sehat. Rekomendasi penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pihak PLTU Teluk Sirih diharapkan segera meminimalisir dampak asap pembakaran batu bara

- yang dihasilkan menggunakan teknologi batubara bersih atau *Clean Coal Technology* (CCT).
2. Dalam rangka peran perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, pemerintah daerah diharapkan: (a) melakukan sosialisasi, penyuluhan, seminar, diskusi, pelatihan terkait pendidikan lingkungan hidup di sekolah, di kantor-kantor pemerintahan maupun di lingkungan tempat tinggal serta pengkajian dan penelitian tentang lingkungan, dan (b) memanfaatkan media sebagai sarana pendidikan/pengetahuan bagi masyarakat.
 3. Dinas Lingkungan Hidup Kota Padang melakukan pemantauan dan/atau pengawasan secara rutin kegiatan PLTU Teluk Sirih.
 4. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat membandingkan hasil pengukuran kualitas udara melalui citra satelit yang beresolusi tinggi dan secara manual di laboratorium.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan dalam penelitian dan penulisan artikel ini.

Referensi

- Akbari, F. R. (2016). *Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik (MT) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. 111.
- Dede, Moh., 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>
- Dewanti, R., & Lolitasari, I. (2014). *Pengembangan Metoda Koreksi Radiometrik Citra Spot 4 Multi-Spektral Dan Multi-Temporal Untuk Mosaik Citra*. 9.
- Fatma, D. (2016). Ciri-ciri Udara yang Bersih dan Sehat. *ilmu geografi*. <https://ilmugeografi.com.cdn.amproject.org/v/s/ilmugeografi.com/ilmu-bumi/udara/ciri-ciri-udara-yang-bersih-dan-sehat>.
- Handoko, E. D. (2020). *Analisis Dampak Nitrogen Dioksida (No2) Di Kota Yogyakarta*. 86.
- Idamiharti, I., & Darlis, V. (2017). Pengujian Karakteristik Perusahaan Dan Kinerja Lingkungan Terhadap Corporate Social Responsibility Disclosure (Studi Empiris: Perusahaan Food and Beverage di Indonesia). *Jurnal Pembangunan Nagari*, 2(1), 19–38.
- Kayes, I., Shahriar, S. A., Hasan, K., Akhter, M., Kabir, M. M., & Salam, M. A. (2019). The relationships between meteorological parameters and air pollutants in an urban environment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3). <https://doi.org/10.22034/GJESM.2019.03.01>
- Kusman, & Utomo, M. S. K. T. S. (2017). Simulasi Persebaran Gas Buang Dan Partikulat Dari Cerobong Asap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Di Jepara Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) Dengan Variasi Kecepatan Udara. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 5, 106–114.
- Mariati, H. (2014). *Integrasi Remote Sensing Dan Pemodelan Fisiologi Untuk Pendugaan Npp (Net Primary Production) Pada Pertanaman Kelapa Sawit*. 57.
- Muhtar, G. A., Mariati, H., Ridwan, Hasanuddin, Sandi, R., & Okviyani, N. (2021). Covid-19 is impact to air quality transformation based on Landsat: A case from Makassar City,

- Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 802(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/802/1/012038>
- Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 18/Permen-Kp/2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Nomor 50/Permen-Kp/2017 Tentang Jenis Komoditas Wajib Periksa Karantina Ikan, Mutu Dan Keamanan Hasil Perikanan, Pub. L. No. 18/PERMEN-KP/2018, 1 (2018).
- Prabandari, D., & Rengga, A. (2018). *Evaluasi Dampak Kebijakan Pembangunan Pltu Terhadap Kehidupan Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Karanggeneng Kecamatan Kandeman Kabupaten Batang*.
- Prabowo, K., & Muslim, B. (2018). *Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan Penyehatan Udara*. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan. http://bppsdmk.kemkes.go.id/pusdiksdmk/wp-content/uploads/2018/09/Penyehatan-Udara_SC.pdf
- Salim. (2014). *Pemetaan Konsentrasi Partikulat Matter 10 µm (PM10) dan Penentuan Nilai Air Pollution Tolerance Index (APTI) pada Tanaman Angsana (pterocarpus indicus willd) di Jalan Raya ITS*. Institut Sepuluh Nopember.
- Simanjuntak, D. J. P. (2020). *Metode Wilcoxon Dalam Menentukan Perbedaan Signifikan Antara Bpjs Penerima Bantuan Iuran Dan Bpjs Non-Penerima Bantuan Iuran Di Sumatera Utara*. 66.
- Suryantoro, A., & Puspita Wulandari, R. (2013). *Penginderaan jauh untuk geografi (Cet.ke-1)*. Yogyakarta : Ombak., 2013. http://library.fis.uny.ac.id/opac/index.php?p=show_detail&id=6755
- Suwarna, E. (2016). Perkembangan Teknologi Batubara Bersih Berwawasan Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(1), 25. <https://doi.org/10.29122/jtl.v12i1.1259>
- Tobuhu, S. S. R., Musa, F. Th., & Tanipu, F. (2015). *Dampak Sosial Pembangkit Listrik Tenaga Uap Molotabu*.
- Ulia, N. (2017). *Hubungan Antara Tingkat Pendidikan Dengan Sikap Masyarakat Terhadap Dampak Lingkungan Pltu Tanjung Jati b Di Kabupaten Jepara*. Universitas Negeri Semarang.
- United State Geological Survey (US). (2013). [English]. <https://glovis.usgs.gov/app>
- United State Geological Survey (US). (2020). [English]. <https://glovis.usgs.gov/app>
- Wahyu Sabubu, T. A. (2020). Pengaturan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara Di Indonesia Prespektif Hak Atas Lingkungan Yang Baik Dan Sehat. *Jurnal Lex Renaissance*, 5(1). <https://doi.org/10.20885/JLR.vol5.iss1.art5>
- Zulfasari, A. M. (2019). *Industrialisasi Pedesaan Dan Dampak Keberadaan Pltu Tanjung Jati b Terhadap Perubahan Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.