
ANALISIS KUALITAS UDARA AMBIEN DENGAN PARAMETER PM_{2,5} DAN PM₁₀ PADA AREA PABRIK PENGOLAHAN BIJIH NIKEL DI SULAWESI SELATAN

Isaghy Putri Utami Sitorus¹, Agus Bambang Irawan²

^{1,2}Fakultas Teknologi Mineral dan Energi
Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta
email: cagiutami@gmail.com

ABSTRACT

The mining activities of PT. XXX are conducted using the open cast mining method to extract nickel ore. In addition to mining, PT. XXX also processes its nickel ore. The nickel ore processing includes drying, reduction, smelting, refining, and granulation. These processing activities potentially cause particulate dispersion in the air. The purpose of this research is to determine air quality based on the Air Pollutant Standard Index (ISPU) using parameters of Particulate Matter 2.5 μm (PM_{2.5}) and Particulate Matter 10 μm (PM₁₀). This study employs a purposive sampling method for collecting ambient air quality samples using a portable Aeroqual S500 device. Measurements were taken at 5 points around the Process Plant area where air quality deterioration is likely to occur. The air quality data was analyzed based on the Indonesian Ministry of Environment and Forestry Regulation No. P.14/MENLHK/7/2020 concerning the Air Pollution Standard Index. Based on the measurement results at the five points in the PP area, several points exceeded the quality standards for Particulate Matter 2.5 μm (PM_{2.5}) and Particulate Matter 10 μm (PM₁₀). The highest concentrations of PM_{2.5} were found in the T1, measuring 30,666 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and PM₁₀ were found in the T3, measuring 105,031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. However, according to the ISPU calculations performed at each sampling point, the air quality is still classified as moderate and remains acceptable for living organisms.

Keyword: PM 2.5, PM 10, Air Pollution Standard Index, Nickel Ore Processing, Air Pollution Control

PENDAHULUAN

PT. XXX, Tbk. adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan dan pengolahan bijih nikel secara terintegrasi di Sulawesi Selatan. Perusahaan ini memproduksi nikel sulfida sebagai produk setengah jadi dari bijih laterit melalui metode pirometalurgi. Proses pengolahan bijih nikel dilakukan di area PP, di mana bijih basah (*wet ore*) dari area stockpile ditransfer ke PP untuk dikeringkan dalam rotary dryer pada *dryer kiln*. Setelah pengeringan, bijih disimpan di *dried ore stockpile* sebelum masuk ke *reduction kiln* untuk proses reduksi, yang bertujuan memisahkan Ni dan Fe bebas dari senyawa oksidanya dan melanjutkan dengan proses sulfidasi untuk mengikat logam bebas menjadi logam sulfida. Bijih kemudian

diteruskan ke electric furnace untuk memisahkan nikel berdasarkan berat jenisnya, diikuti dengan pemurnian nikel matte menggunakan converter untuk meningkatkan kadar Ni. Setelah pemurnian, nikel matte dikemas sebelum dikirim. Seluruh proses ini menghasilkan partikel debu dan gas yang dapat menyebabkan pencemaran udara di sekitar pabrik.

Aktivitas di area pabrik juga menimbulkan debu yang mengandung bakteri, berpotensi memicu penyakit akibat kerja bagi karyawan, terkait dengan kualitas udara di area kerja. Data pemantauan kualitas udara di PP PT. XXX menunjukkan bahwa parameter $PM_{2,5}$ dan PM_{10} sering melebihi batas baku mutu, yang disebabkan oleh berbagai proses di area tersebut. *Particulate Matter* (PM) menurut Arba (2019) merupakan salah satu komponen polutan yang berdampak pada kesehatan manusia dengan klasifikasi fisik umum berupa debu, kotoran ataupun asap. PM_{10} merupakan jenis partikulat dengan diameter <10 mikron, sedangkan $PM_{2,5}$ merupakan partikulat dengan ukuran <2,5 mikron. Menurut Fitria (2016) dan Roza et al (2015), $PM_{2,5}$ dan PM_{10} merupakan partikel yang tidak dapat disaring oleh bagian atas saluran pernapasan, menyebabkan pengendapan pada bronkus dan alveolus, yang dapat mengakibatkan gangguan pernapasan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) serta arahan pengelolaan yang dapat dilakukan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat portable pengambilan sampel udara berupa *Particulate Matter 2.5 μm ($PM_{2,5}$)* dan *Particulate Matter 10 μm (PM_{10})* berupa Aeroqual S500

Metode

Metode yang digunakan yaitu analisis kuantitatif dan kualitatif dengan metode pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder yaitu studi pustaka, observasi rona lingkungan. Teknik penentuan titik sampling yang digunakan berupa purposive sampling, yaitu metode pengambilan data dengan bahan pertimbangan tertentu dalam menentukan titik samplingnya. Pengambilan sampel dilakukan pada 5 titik dengan mempertimbangkan arah mata angin serta sumber pencemar yang berpotensi menghasilkan partikulat debu. Parameter yang diukur dalam penelitian berupa *Particulate Matter 2.5 μm ($PM_{2,5}$)* dan *Particulate Matter 10 μm (PM_{10})* dengan penentuan titik sampel berdasarkan SNI 19-7119.6-2005 tentang penentuan lokasi pengambilan contoh uji pemantauan kualitas udara ambien.

Hasil pengukuran $PM_{2,5}$ dan PM_{10} akan dilanjutkan dengan perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

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

Keterangan :

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 perhitungan (µg/m³)

Hasil dari perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara kemudian dilakukan pengkategorian kualitas udara sesuai dengan Tabel 1. Berikut :

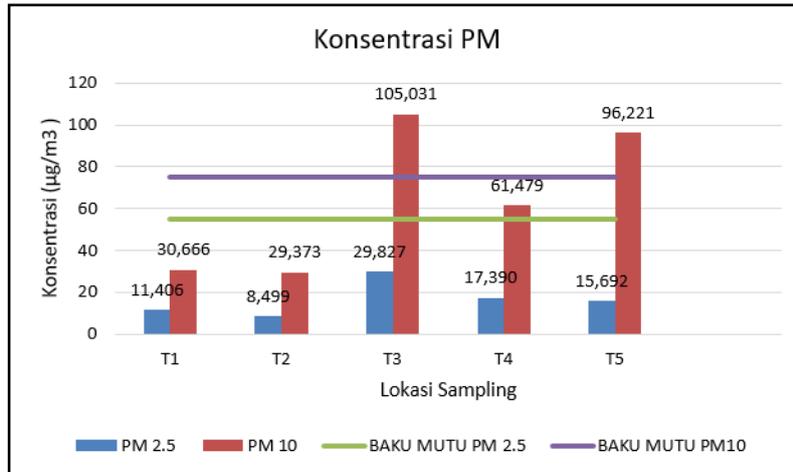
Kategori	Status Warna	Rentang Angka
Baik		1-50
Sedang		51-100
Tidak Sehat		101-200
Sangat Tidak Sehat		201-300
Berbahaya		≥301

(Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Udara Berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Hasil pengukuran konsentrasi PM 2.5 dan PM 10 dapat dilihat pada Gambar 1. Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa pada parameter PM 2.5 tidak melebihi baku mutu namun memiliki nilai konsentrasi tertinggi pada area T2 yaitu 29,827 µg/m³ dan konsentrasi terendah pada T2 yaitu sebesar 8,499 µg/m³. Adanya perbedaan konsentrasi Particulate Matter 2.5 µm (PM2.5 µm) dipengaruhi oleh kegiatan yang berlangsung pada titik lokasi pengukuran dan letak titik lokasi, pada sekitar area T1 sedang dilakukan maintenance pada saat pengukuran sehingga menyebabkan konsentrasi PM 2.5 µm meningkat. Selain itu, pada area T3 terdapat bangunan yang cukup tinggi sehingga membuat partikulat dari sumber pencemar berkumpul sehingga konsentrasinya tinggi. Untuk konsentrasi Particulate Matter 10 µm (PM10) tertinggi berada pada area T3 yaitu sebesar 105,031 µg/m³ yang telah melebihi baku mutu pada Lampiran VII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu sebesar 75 µg/m³. Konsentrasi Particulate Matter 10 µm (PM10) terendah yaitu pada area T2 sebesar 29,373 µg/m³.



Gambar 1. Konsentrasi *Particulate Matter* 10 µm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* 2,5 µm

Kualitas udara ambien dengan adanya *Particulate Matter* 10 µm (PM_{10}) dan *Particulate Matter* 2,5 µm ($PM_{2.5}$) dapat diketahui dengan melakukan perhitungan indeks kualitas udara sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3

Tabel 2 Hasil Perhitungan ISPU $PM_{2.5}$

Titik Pengambilan Sampel	Konsentrasi $PM_{2.5}$ (µg/m³)	Angka ISPU $PM_{2.5}$	Kategori ISPU	Status Warna
T1	11,406	44,869	BAIK	Green
T2	8,499	41,227	BAIK	Green
T3	29,827	67,953	SEDANG	Blue
T4	17,390	52,368	SEDANG	Blue
T5	15,692	50,240	BAIK	Green

(Sumber : Olah Data Penulis, 2024)

Tabel 3 Hasil Perhitungan ISPU PM_{10}

Titik Pengambilan Sampel	Konsentrasi PM_{10} (µg/m³)	Angka ISPU PM_{10}	Kategori ISPU	Status Warna
T1	30,666	40,333	BAIK	Green
T2	29,373	39,686	BAIK	Green
T3	105,031	77,515	SEDANG	Blue
T4	61,479	55,739	SEDANG	Blue
T5	96,221	73,110	SEDANG	Blue

(Sumber : Olah Data Penulis, 2024)

Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) untuk parameter Particulate Matter 10 μm (PM10) dan Particulate Matter 2,5 μm (PM2,5) di lima titik pengambilan sampel yang mewakili lokasi penelitian (ditampilkan pada Peta 5.1 dan 5.2) memiliki nilai ISPU yang cukup serupa. ISPU untuk PM10 berkisar antara 39,686 hingga 77,515, dikategorikan sebagai kualitas udara sedang dengan status warna biru. Sementara itu, ISPU untuk PM2,5 berkisar antara 41,277 (kualitas udara baik, warna hijau) hingga 67,953 (kualitas udara sedang, warna biru). Hasil perhitungan ISPU menunjukkan bahwa kualitas udara akibat PM10 dan PM2,5 di area penelitian masih dalam batas yang dapat diterima untuk kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, sehingga aktivitas luar ruangan masih aman dilakukan tanpa dampak signifikan pada kesehatan. Meskipun demikian, PT. XXX menetapkan kebijakan penggunaan respirator di area PP untuk meminimalkan dampak emisi dan partikel serta mengurangi risiko kesehatan bagi karyawan.

Arahan Pengelolaan

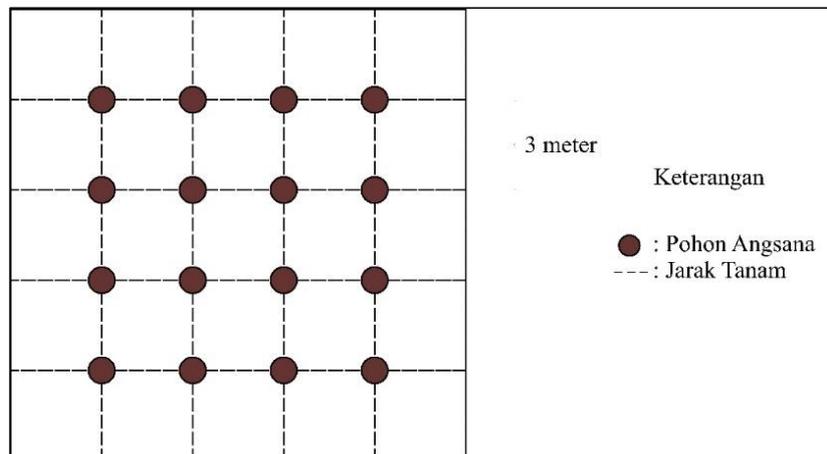
A. Penanaman Pohon Angsana

Penanaman dilakukan pada pinggir jalan dan pada area yang cukup curam oleh karena itu, penanaman dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2012 yaitu berjarak 2,5 m dari jalan ke jalur tanamnya. Menurut Joker (2002) dalam Abror (2018), pohon angsana ini mampu tumbuh pada berbagai tipe tanah, dan biasanya ditemukan pada ketinggian 1-600 mdpl, yang artinya keterdapatannya sesuai dengan lokasi penelitian. Pada penelitian Febrianti (2019) pohon angsana juga memiliki kriteria yang sesuai sebagai tanaman penjerap debu polutan dengan nilai evaluasi pembobotan sebesar 80 yang artinya sesuai sebagai tanaman penjerap debu.

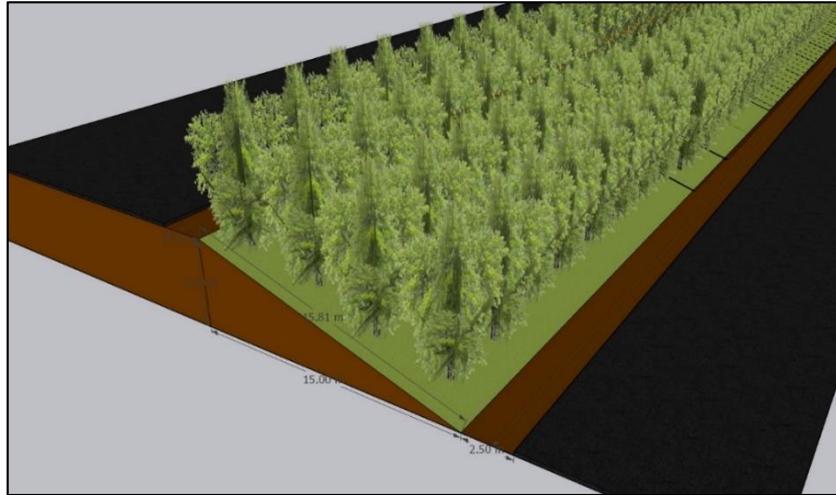
Tabel 4. Karakteristik Pohon Angsana

Jenis Pohon	Karakteristik				
	Bentuk	Tinggi	Daun	Penyebaran	Kegunaan
Pohon Angsana	Pohon besar dengan diameter batang 1,5 m (Martawijaya <i>et al</i> , 2005 dalam Arif <i>et al</i> , 2018)	Tinggi pohon mulai dari 30-45 m (Martawijaya <i>et al</i> , 2005 dalam Arif <i>et al</i> , 2018)	Daun bersifat majemuk dan menyirip dengan panjang (Utami <i>et al</i> , 2023)	Umumnya tumbuh pada ketinggian 1-600 mdpl (Joker, 2002 dalam Abror, 2018)	Mampu mereduksi polusi dan menjerap partikulat, dan digunakan sebagai bahan bangunan dan mebel (Abror, 2018) & (Febrianti, 2019)

Jarak penanaman pohon angšana yang direkomendasikan minimal 4 m. Oleh karena itu penanaman pohon angšana akan ditanam bersusun pada lereng dengan sudut kemiringan 30^0 dengan jarak tanam 3 m x 3 m. Pohon angšana memiliki tipe tajuk menyebar, berdasarkan penelitian Afrizal dkk pada 2022, tipe tajuk menyebar memiliki rerata kemampuan menyerap debu sebesar $5,884 \text{ mg/cm}^2$. Konsentrasi PM tertinggi pada area PP mencapai $105.031 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ dengan luasan area 14.632 m^2 sehingga total partikulat sebesar $1.536.813,59 \text{ } \mu\text{g}$. Dari total partikulat tersebut membutuhkan 679 pohon angšana dengan penyerapan per pohonnya $2.263,280 \text{ } \mu\text{g}$. Namun, dengan luasan penanaman seluas 5.298 m^2 hanya dapat menanam pohon angšana sebanyak 557 pohon dengan penanaman dilakukan dimaksimalkan pada jarak 3 m yang didapat dari luasan dasar pohonnya. Dengan 557 pohon yang dapat ditanam, total partikulat yang dapat diserap adalah $1.260.646,96 \text{ } \mu\text{g}$. Ini setara dengan pengurangan sekitar 82,03% dari total partikulat yang ada di area perusahaan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tidak dapat menanam jumlah pohon yang dibutuhkan, penanaman 557 pohon angšana masih dapat memberikan dampak signifikan dalam mengurangi partikulat di udara area perusahaan. Namun, ketika jarak penanaman mengikuti standar milik perusahaan yaitu 4 m agar tajuk tiap pohonnya dapat tumbuh dengan maksimal tanpa bersinggungan, pada luasan yang sama membutuhkan 331 pohon angšana dengan kemampuan menyerap sebesar $749.428,59 \text{ } \mu\text{g}$, yang artinya memiliki persentase pengurangan partikulat sebesar 48,76%

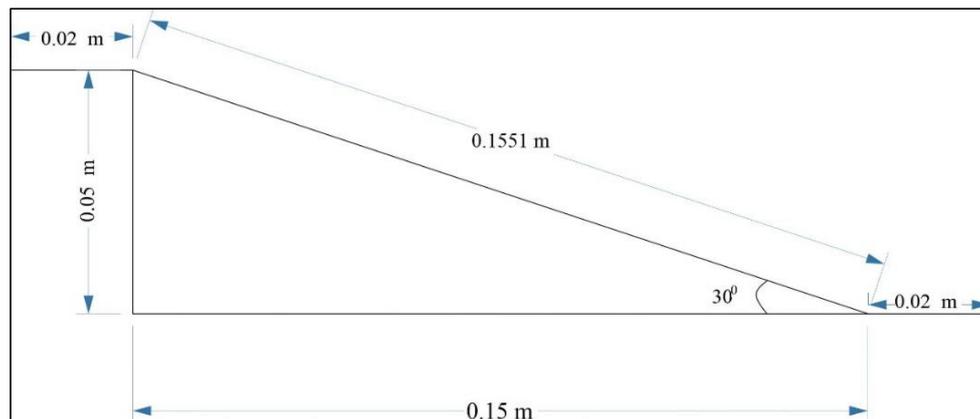


Gambar 2 Dimensi Penanaman Pohon Angšana
(Sumber : Olah Data Penulis, 2024)



Gambar 3 Tampak Tiga Dimensi Penanaman Pohon Angsana
(Sumber : Olah Data Penulis, 2024)

Penanaman dilakukan pada luasan 5.298 m^2 dengan sudut kemiringan 30° . Pada luasan tersebut dengan jarak tanam $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ membutuhkan 557 pohon sesuai dengan Gambar 4 dengan dimensi penanaman sesuai dengan kemiringan lereng disesuaikan dengan jarak tanam $2,5 \text{ m}$ dari *mining hauling road*. Perencanaan lereng mengikuti spesifikasi pembentukan lereng bukit yang sesuai dengan petunjuk teknis perusahaan, yaitu sudut kemiringan $3 : 1$ dengan tinggi lereng sehingga memudahkan pekerjaan penanaman dan mendukung pertumbuhan vegetasi serta semaksimal mungkin mengurangi laju erosi.



Gambar 4 Dimensi Penanaman Tampak Samping
(Sumber : Penulis, 2024)

B. Pemasangan *Dust Suppression System*

Dry fog system merupakan salah satu arahan pengelolaan yang digunakan untuk meminimalisir penyebaran partikulat debu di udara (*dust suppressant*). *Dry fog system* menangkap debu yang beterbangan di udara menggunakan kompresor kombinasi air dan udara. Sistem ini akan menghasilkan kabut dengan ukuran $1 - 10$ mikron yang akan menyelimuti sumber partikel debu sehingga mengurangi

penyebaran partikulat debu ke udara. Penggunaan *dust suppression system* ini disarankan karena konsumsi air yang digunakan tidak banyak karena ukuran dropletnya yang sangat kecil. Selain itu menurut penelitian S.K. Chaulya dkk (2021) *dust suppression system* menggunakan *dry fog nozzle* ini mampu menekan debu emisi hingga 98,7 %



Gambar 5 Dry Fog Atomizer Nozzle

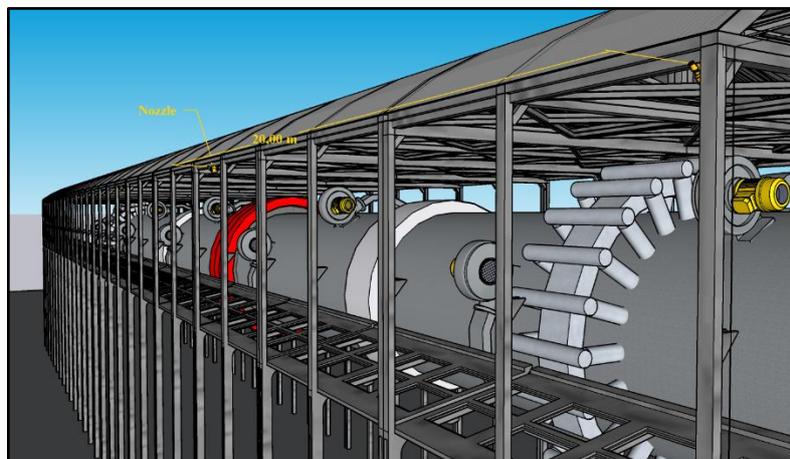
Dust suppressant memiliki sifat tahan lama dalam arti mampu menjaga kelembapan sehingga mengurangi konsumsi air dengan tidak melakukan penyemprotan berulang kali, selain itu tidak bersifat korosif dan tahan terhadap erosi sehingga apabila terkena berbahan besi tidak akan mengalami karat (Mutaqqin et al, 2008). *Dust Suppression System* yang direkomendasikan menggunakan *dry fog atomizer nozzle* dengan spesifikasi seperti pada **Tabel 5** . Pemilihan *nozzle* ini dengan mempertimbangkan luasan yang dapat dijangkau oleh *nozzle* tersebut. Selain itu penggunaan *nozzle* ini jika diaplikasikan pada dalam area D ataupun *conveyor* tidak menambah kelembapan secara signifikan, yaitu > 0.1 % sehingga tidak akan menyebabkan masalah pada *ore* yang akan di olah pada *furnace* akibat kadar kelembapan yang meningkat. Selain itu jika diaplikasikan diluar ruangan (sebagai contoh sel *kiln*) tidak menghasilkan air limpasan karena droplet yang kecil dengan ukuran < 10 mikron sehingga sangat sesuai digunakan untuk menekan penyebaran debu PM 2,5 dan PM 10.

Tabel 5 Spesifikasi Dry Fog Nozzle

Spesifikasi	Keterangan
<i>Supply Pressure</i>	3,9 bar
<i>Water Supply Pressure</i>	2,9 bar
<i>Air Consumption</i>	100-120 m ²
<i>Water Consumption</i>	9,8 L/ min
<i>Humidify Diameter</i>	7 m
<i>Nozzle Diameter</i>	0,3 mm

(Sumber : Analisis Penulis, 2024)

Penggunaan alat ini membutuhkan konsumsi air sebesar $14,112 \text{ m}^3$ untuk satu harinya pada 1 buah nozzle dengan luasan cakupan area 100 m^2 . Sistem ini akan digunakan pada beberapa titik yang tersebar pada area PP. Pemilihan titik pemasangan sistem tersebut berdasarkan atas potensi timbulan partikulat debu yang dihasilkan seperti pada *conveyor ore* dan *coal* yang dapat menimbulkan debu dari proses transportasi *ore* dari satu pengolahan ke unit pengolahan yang lain. Nantinya nozzle akan dipasang mengarah ke *conveyor belt*. Kemudian sistem ini akan dipasang pada tiap tiap sel unit *kiln*, *dryer*, dan *furnace* dengan nozzle mengarah bertolak belakang dengan unitnya.



Gambar 6 Visualisasi Jarak Nozzle pada K#1
(Sumber : Penulis, 2024)

Sebagai contoh, DSS ini akan diletakkan pada K#1 yang berada dekat dengan D1. K#1 memiliki tinggi 20 m dengan luas daerah yang akan di semprotkan $498,993 \text{ m}^2$ sehingga membutuhkan 5 nozzle yang akan di pasang pada masing masing sisi. Oleh karena itu pada masing-masing sisi dengan 5 nozzle membutuhkan air sebanyak 49 L/ min dan kebutuhan udara sebanyak $0,6 \text{ m}^3/ \text{min}$ dengan jarak pasang 20 m dan *spray angle nozzle* pada $170, 70^\circ$.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari pengambilan data yang dilakukan, konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ μm dan PM_{10} μm tertinggi berada pada area reduction kiln yaitu $29,827 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $105.032 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada parameter PM_{10} terdapat 2 titik yang melebihi bakumutu yaitu pada area reduction kiln dan D2 utara sebesar $105.032 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $96.221 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Namun berdasarkan perhitungan ISPU yang dilakukan, pada masing-masing titik pengambilan data, kualitas udara masih tergolong sedang dan masih dapat diterima oleh makhluk hidup. Arahkan pengelolaan yang dapat diterapkan untuk membantu menekan tingginya $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} ialah : penanaman pohon angkana dan penggunaan *dust suppression system*

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta yang telah memberikan dana hibah riset yang mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abror, W. M. (2018). *Analisis Teknis dan Ekonomis Kayu Angsana (Pterocarpus Indicus) sebagai Material Pembangunan Kapal Ikan* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Afrizal, M. S., Simanjuntak, B. H., & Sutrisno, A. J. (2022). Penilaian fungsi pohon tepi Jalan Diponegoro Kota Salatiga dalam menjerap debu. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, 21(2), 303-314.
- Arba, S. (2019). Kosentrasi Respirable Debu Particulate Matter (Pm_{2,5}) Dan Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Di Pemukiman Sekitar PLTU. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(2), 178-184.
- Arif, A., Tuheteru, F. D., Basrudin, B., & Albasri, A. (2018). Pertumbuhan dan Ketergantungan Tanaman Angsana (*Pterocarpus Indicus* Willd.) dengan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) *Glomus* Spp. In *Prosiding Seminar Nasional Mikoriza* (pp. 221-236).
- Chaulya, S. K., Chowdhury, A., Kumar, S., Singh, R. S., Singh, S. K., Singh, R. K., ... & Banerjee, G. (2021). Fugitive dust emission control study for a developed smart dry fog system. *Journal of Environmental Management*, 285, 112116.
- Febrianti, A.M. 2019. *Evaluasi Fungsi Fisik dan Toleransi Pohon Tepi Jalan Terhadap Polusi Udara di Lingkar Luar Kebun Raya Bogor*. Skripsi Jurusan Arsitektur Lanskap, IPB. Bogor
- Fitria, N. (2016). Gambaran Partikel Debu PM_{2,5} Dengan Keluhan Kesehatan Pada Karyawan Perpustakaan Kampus B Universitas Airlangga. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(2), 206–218.
- Mutaqqin, F. (2008). *Pembuatan Dan Karakterisasi Dust Suspressant Berbasis Polimer Emulsi Untuk Aplikasi Di Pertambangan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia
- Roza, V., Ilza, M., & Anita, S. (2015). Korelasi Konsentrasi Particulate Matter (PM₁₀) di Udara dan Kandungan Timbal (Pb) dalam Rambut Petugas SPBU di Kota Pekanbaru. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 2(1), 52-60.
- Utami, S.M. et al. (2020). *Review Perbandingan Efektivitas Asam Klorida Dan Asam Sulfat Dalam Atmospheric Leaching Bijih Nikel Laterit Terhadap Senyawa Kimia Dan Yield Unsur Ni*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember