



Efektivitas Penerapan Metode Penyiraman Dalam Aktivitas Pertambangan Bentonit di Kabupaten Pacitan

Arnetha Seputra

22034010109@student.upnjatim.ac.id

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Mohamad Mirwan

mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Alamat: Jl. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya Jawa Timur

Korespondensi penulis: 22034010109@student.upnjatim.ac.id

Abstrak. *Bentonite is a clay-like material that contains a lot of montmorillonite minerals, bentonite has unique properties, namely it can swell in water, intercalate and has ion exchange properties. The potential for bentonite in Indonesia is quite large and is spread across various regions. The marketing prospects for Bentonite in the country are quite large, which are generally used for various purposes in various industries. Pacitan is one of the areas in Indonesia that has the potential for bentonite mining. The existence of bentonite mining can have a negative impact on the environment, such as decreasing air quality due to particulate and gas emissions. Based on the technical approval document for emissions of one of the companies in Pacitan Regency, an emission analysis was carried out based on the US EPA. It is known that mining activities produce 24-hour TSP particulates with a concentration of $30.7 \mu\text{g} / \text{m}^3$, the highest PM10 with a value of $13.7 \mu\text{g} / \text{m}^3$, and the highest PM2.5 at a value of $0.753 \mu\text{g} / \text{m}^3$. Based on the particulate value, management is carried out using the watering method so that a decrease of 95% occurs.*

Keywords: *Particulate Emissions, Gas Emissions, Air Pollution Control, Bentonite Mining, Environmental Impacts.*

Abstrak. Bentonit merupakan material sejenis lempung yang banyak mengandung mineral montmorillonite, bentonit memiliki sifat khas yaitu dapat mengembang (swelling) di dalam air, interkalasi dan bersifat penukar ion. Potensi bentonit di Indonesia cukup besar dan tersebar di berbagai daerah. Prospek pemasaran Bentonit di dalam negeri cukup besar, yang umumnya digunakan untuk berbagai macam kepentingan pada berbagai industri. Pacitan merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi pertambangan bentonit. Keberadaan pertambangan bentonit dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti menurunnya kualitas udara akibat emisi partikulat dan gas. Berdasarkan dokumen persetujuan teknis emisi salah satu perusahaan di Kabupaten Pacitan, dilakukan analisis emisi berdasarkan US EPA. Diketahui bahwa dari aktivitas penambangan menimbulkan partikulat TSP 24 jam dengan konsentrasi $30,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 tertinggi dengan nilai $13,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan PM2.5 tertinggi berada pada nilai $0,753 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Berdasarkan nilai partikulat tersebut dilakukan pengelolaan dengan metode penyiraman sehingga terjadi penurunan sebesar 95%.

Kata Kunci: Emisi Partikulat, Emisi Gas, Pengendalian Pencemaran Udara, Penambangan Bentonit, Dampak Lingkungan.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan alam melimpah, baik yang berada di darat dan juga di laut. Salah satu kekayaan itu adalah bentonit. Mineral ini sangat berpotensi dalam berbagai sektor industri, seperti industri pengeboran minyak dan gas, hingga industri kosmetik. Bentonit merupakan salah satu jenis mineral yang memiliki beragam manfaat dalam kehidupan sehari-hari. Bentonit dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen, keramik, kosmetik, krayon serta sebagai adsorben. Bentonit memiliki kemampuan mengembang, sifat

Received Maret 28, 2024; Revised April 28, 2025; Mei 15, 2025

** Arnetha Seputra, 22034010109@student.upnjatim.ac.id*

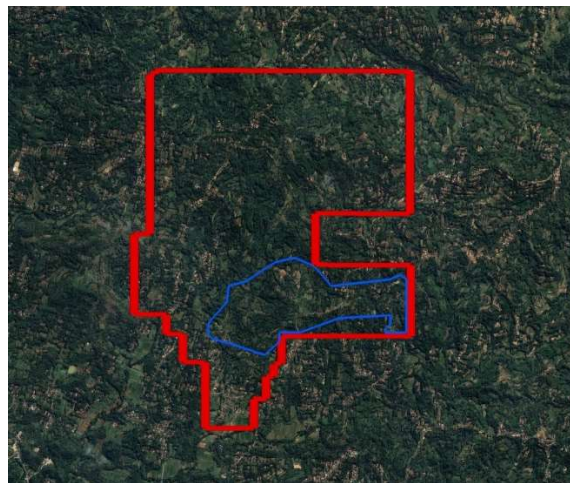
penukar ion, luas permukaan yang besar dan mudah menyerap air sehingga memungkinkan penggunaannya sebagai adsorben (Ruskandi, 2020).

Penambangan bentonit sebagian besar tidak dilakukan proses pengolahan dalam kegiatan tambang yang bisa meningkatkan nilai tambah. Dalam proses kegiatan pertambangan dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan, salah satunya adalah meningkatnya partikulat dan gas di udara. Dalam kegiatan operasionalnya, Perusahaan di Kabupaten Pacitan telah melakukan pengelolaan untuk menurunkan emisi yang di timbulkan. Untuk mengurangi emisi yang ditimbulkan karena aktivitas penggalian maka dilakukan penyiraman jalanan tambang dengan air. Penyiraman jalanan tambang untuk mengendalikan partikulat tanah menggunakan air merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam industri pertambangan. Prinsip kerjanya adalah dengan menyemprotkan air secara merata ke permukaan jalanan tambang untuk menekan partikulat tanah agar tidak terbang dan tersebar ke udara.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas dari upaya pengelolaan lingkungan yang dilakukan oleh perusahaan khususnya dalam pengendalian dampak partikulat dan gas di udara. Untuk mencapai tujuan tersebut maka dilakukan analisa dengan cara membandingkan hasil pengelolaan.

METODE PENELITIAN

Lokasi penambangan bentonit berada pada kawasan permukiman perdesaan, kawasan perkebunan, dan kawasan hortikultura yang terletak di Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Gambaran lokasi kegiatan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Kegiatan Penambangan

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif. Metode pelaksanaan penelitian terdiri dari ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data, analisis data, dan kesimpulan yang sebagaimana disajikan diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Tahap ide penelitian dilakukan dengan menentukan topik yang akan dibahas dalam penulisan, kemudian melakukan studi literatur. Pada tahap mengumpulkan data ini menggunakan data sekunder, dimana pengumpulan data sekunder berasal dari dokumen laporan pengukuran emisi pada lokasi kegiatan tambang. Tahap selanjutnya adalah analisis data dengan melakukan pengelompokan data, interpretasi data serta informasi yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Tahap kesimpulan berupa deskripsi analisis data, penyusunan kesimpulan dan rekomendasi yang perlu dilakukan.

Untuk menghitung beban emisi dengan menggunakan faktor emisi, diperlukan 3 data masukan; yaitu informasi aktivitas, faktor emisi, dan informasi tentang efisiensi peralatan pengendali emisi (apabila menggunakan faktor emisi yang tidak mempertimbangkan efisiensi peralatan pengendali). Persamaan dasar perhitungan emisi adalah:

$$E = R \times FE \text{ (tanpa pengendalian)} \times \frac{100 - C}{100}$$

Keterangan:

E = Emisi

R = Tingkat aktivitas (misalnya, jumlah materi yang diproses)

FE = Faktor emisi, dengan asumsi tanpa pengendalian

C = efisiensi peralatan pengendali (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Sedangkan untuk jumlah emisi dari proses pemuatan karena penimbunan langsung material ke ke loader yang memuat material dari timbunan ke dumper/truk dapat mengacu pada persamaan di bawah ini (U.S. EPA, 2006b).

$$E_{TSP} = k_{pms-TSP} \times k_{mat.hand} \times \frac{\left(\frac{U}{k_U}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{k_M}\right)^{1.4}} \times Q_{mat. handled}$$

$$E_{PM10} = k_{pms-PM10} \times k_{mat.hand} \times \frac{\left(\frac{U}{k_U}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{k_M}\right)^{1.4}} \times Q_{mat. handled}$$

$$E_{PM2.5} = k_{pms-PM2.5} \times k_{mat.hand} \times \frac{\left(\frac{U}{k_U}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{k_M}\right)^{1.4}} \times Q_{mat. handled}$$

Keterangan:

$E_{TSP/PM10/PM2.5}$	= emissions of TSP/PM10/PM2,5 (kg/tahun)
U	= average yearly wind speed (m/s)
M	= moisture content of the stockpile material (in %)
$Q_{mat.hand}$	= quantity of stockpile material handled (ton/tahun)
k_U	= 2,2 (s/m)
k_M	= 2 (-)
$k_{mat.hand}$	= 0,0016 (kg/ton)
$k_{pms-TSP}$	= 0,74 (particle size multiplier, no unit)
$k_{pms-PM10}$	= 0,35 (particle size multiplier, no unit)
$k_{pms-PM2.5}$	= 0,053 (particle size multiplier, no unit)

Metodologi yang digunakan untuk menghitung emisi partikulat untuk jalan tanah digunakan persamaan berikut (US EPA (2006a)):

$$E_{TSP} = k_{TSP} \times \left(\frac{s}{k_s}\right)^{0.7} \times \left(\frac{W_{dumper}}{k_W}\right)^{0.45} \times d_{unpaved} \times \left(1 - \frac{p}{k_{day}}\right) \times (1 - ER)$$

$$E_{PM10} = k_{PM10} \times \left(\frac{s}{k_s}\right)^{0.9} \times \left(\frac{W_{dumper}}{k_W}\right)^{0.45} \times d_{unpaved} \times \left(1 - \frac{p}{k_{day}}\right) \times (1 - ER)$$

$$E_{PM2.5} = k_{PM2.5} \times \left(\frac{s}{k_s}\right)^{0.9} \times \left(\frac{W_{dumper}}{k_W}\right)^{0.45} \times d_{unpaved} \times \left(1 - \frac{p}{k_{day}}\right) \times (1 - ER)$$

Keterangan:

$E_{TSP/PM10/PM2.5}$	= emissions of TSP/PM10/PM2,5 (kg/tahun)
s	= silt content (<75 μ m) of road surface material (%) default values proposed (Table 13.2.2-1 of US EPA 2006a) - 4,8 for sand and gravel processing - 9,15 (average of 8,3 and 10) for crushed rock quarries

W_{dumper}	= dumper weight (on average) (ton)
d_{unpaved}	= total distance travelled by dumpers on unpaved road (km/tahun)
ER	= abatement factor (%)
p	= number of days per year with at least 0,254 (0,01 inch) mm natural precipitation ² = 146 hari (BPS Kab. Pacitan, 2024)
k_{TSP}	= 1,381 (kg/km)
$k_{\text{PM}_{10}}$	= 0,422 (kg/km)
$k_{\text{PM}_{2.5}}$	= 0,042 (kg/km)
k_w	= 2,72 (ton)
k_s	= 12 (-)
k_{day}	= 250 (-)

untuk perhitungan emisi akan disesuaikan dengan kegiatan pemuatan bentonit sesuai persamaan berikut (US EPA (2006b)):

$$E_{\text{TSP}} = k_{\text{pms-TSP}} \times k_{\text{mat.hand}} \times \frac{\left(\frac{U}{k_U}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{k_M}\right)^{1.4}} \times Q_{\text{mat. handled}}$$

$$E_{\text{PM}_{10}} = k_{\text{pms-PM}_{10}} \times k_{\text{mat.hand}} \times \frac{\left(\frac{U}{k_U}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{k_M}\right)^{1.4}} \times Q_{\text{mat. handled}}$$

$$E_{\text{PM}_{2.5}} = k_{\text{pms-PM}_{2.5}} \times k_{\text{mat.hand}} \times \frac{\left(\frac{U}{k_U}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{k_M}\right)^{1.4}} \times Q_{\text{mat. handled}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis emisi partikel dan gas pada kegiatan pertambangan bentonit perusahaan di Kabupaten Pacitan dilakukan berdasarkan beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan tambang. Perhitungan laju emisi dari kegiatan operasional tambang bentonit terdiri dari beberapa sumber meliputi kegiatan mobilisasi peralatan konstruksi dan penambangan, kegiatan konstruksi pembangunan fasilitas penambangan, penyiapan lahan, kegiatan penambangan, kegiatan pengangkutan hasil tambang, kegiatan pembongkaran fasilitas tambang, kegiatan reklamasi lahan pasca tambang, kegiatan demobilisasi peralatan tambang.

Sumber Emisi

Sebelum melakukan estimasi jumlah emisi yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan bentonit, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi seluruh sumber yang berpotensi menghasilkan emisi. Identifikasi ini mencakup analisis terhadap setiap tahapan proses

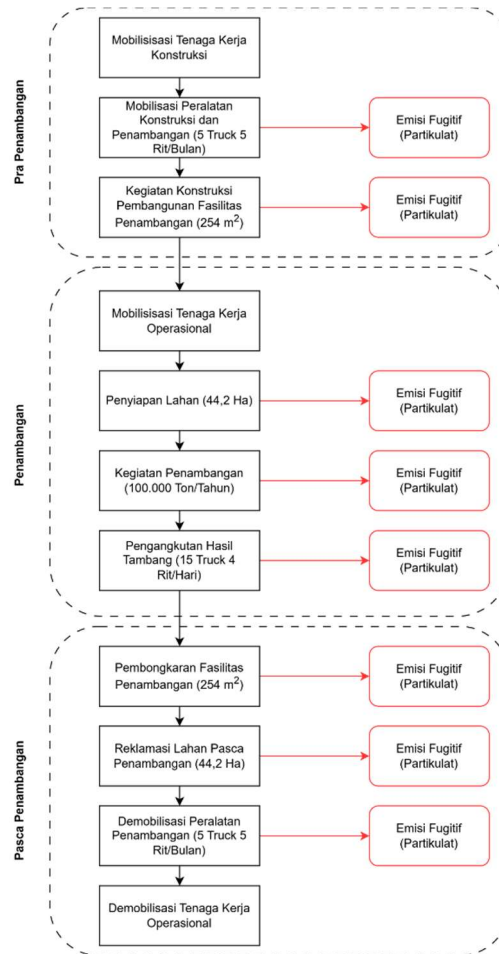
pertambangan, mulai dari kegiatan awal hingga akhir operasi. Berdasarkan hasil identifikasi diketahui bahwa emisi yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan bentonit terdiri atas TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO_x, dan HC.

Sumber Emisi dipertambangan bentonit

1. Mobilisasi Peralatan Konstruksi dan Penambangan
Kegiatan yang melibatkan penggunaan kendaraan bermotor, seperti transportasi bahan dan peralatan konstruksi dan penambangan, berkontribusi pada pelepasan emisi gas buang ke udara, termasuk karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan partikel halus yang dapat memengaruhi kualitas udara dan kesehatan lingkungan.
2. Kegiatan Konstruksi Pembangunan Fasilitas Penambangan
Kegiatan konstruksi dapat menghasilkan emisi partikulat karena proses-proses yang terlibat dalam konstruksi berupa material padat seperti tanah, batu, pasir, dan beton.
3. Penyiapan Lahan
Kegiatan pembersihan lahan dan pengupasan tanah pucuk dapat menghasilkan emisi fugitive berupa partikulat karena adanya gangguan terhadap lapisan tanah dan vegetasi yang ada di atasnya, sehingga butiran tanah dan debu yang ada di permukaan dapat terlepas dan terangkat ke udara, selain itu pengupasan tanah pucuk biasanya juga menggunakan alat berat seperti ekskavator dan chainshaw yang melakukan pengerukan dan penggalian yang dapat menyebabkan gesekan antara alat dan tanah.
4. Kegiatan Penambangan
Tahap penambangan dengan tipe tambang terbuka dan menggunakan sistem top to bottom menimbulkan emisi partikulat. Sedangkan proses pemuatan merupakan proses penimbunan langsung material ke dump truck
5. Pengangkutan Hasil Tambang
Transportasi material mengeluarkan partikel karena kontak antara ban truk dan jalan. Ada perbedaan antara jalan yang tidak beraspal dan yang beraspal karena perbedaan signifikan dalam emisi partikulat antara kedua permukaan tersebut.
6. Pembongkaran Fasilitas Pasca Tambang
Kegiatan pembongkaran fasilitas bekas tambang, seperti penghancuran struktur, pemotongan material, dan pemindahan puing-puing, berpotensi menimbulkan emisi partikulat yang dapat mencemari udara dan memengaruhi kesehatan lingkungan sekitar
7. Reklamasi pasca tambang
Kegiatan reklamasi yang akan dilakukan adalah berupa penataan lahan, penebaran tanah pucuk, dan revegetasi dengan tanaman penutup tanah yang akan digunakan untuk reklamasi jenjang tambang. Emisi partikulat dari kegiatan reklamasi ini diidentifikasi karena ada proses pengembalian lapisan tanah pucuk (top soil).
8. Demobilisasi peralatan tambang
Kegiatan yang melibatkan penggunaan kendaraan bermotor, seperti transportasi bahan dan peralatan konstruksi dan penambangan, berkontribusi pada pelepasan emisi gas buang ke udara, termasuk karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan partikel halus yang dapat memengaruhi kualitas udara dan kesehatan lingkungan

Berikut merupakan tahapan proses produksi beserta nilai emisi yang dihasilkan pada sumber emisi.

**Efektivitas Penerapan Metode Penyiraman Dalam Aktivitas
Pertambangan Bentonit di Kabupaten Pacitan**



Gambar 3. Alur Proses Produksi

Adapun beban emisi yang dihasilkan pada setiap tahap penambangan sebagai berikut.

1. Emisi Mobilisasi Peralatan Konstruksi dan Penambangan

Dengan estimasi jumlah kendaraan truk setiap hari ± 5 unit/hari dan panjang jalan lintasan menuju ke area tambang rata-rata ± 10 km dengan faktor emisi CO = 8,4 g/km; HC = 1,8 g/km; NO_x = 17,7 g/km; PM₁₀ = 1,4 g/km; CO₂ = 3172 g/kg BBM; dan SO₂ = 0,82 g/km (PermenLH No 12 Tahun 2010),

Tabel 1. Emisi Bergerak Mobilisasi Kendaraan

Parameter	Faktor Emisi (g/km)	Emisi (g/hari)	Emisi (g/jam)	Emisi (g/det)
CO	8,4	420	52,50	0,0146
HC	1,8	90	11,25	0,0031
NO _x	17,7	885	110,63	0,0307
PM ₁₀	1,4	70	8,75	0,0024
SO ₂	0,82	41	5,13	1,738

2. Emisi Kegiatan Konstruksi Pembangunan Fasilitas Penambangan

Dengan luas bangunan 254 m² dan total jam operasional 1.664 jam/tahun dengan durasi konstruksi 8 bulan, berdasarkan Tabel 3-3 Section 2.A.5.b of EMEP/EEA Guidebook (2009), kegiatan konstruksi untuk tipe tempat tinggal kegiatan konstruksi untuk tipe

tempat tinggal memiliki nilai faktor emisi untuk parameter TSP sebesar 0,29 kg/m²/tahun, PM₁₀ sebesar 0,086 kg/m²/tahun, dan PM_{2.5} sebesar 0,0086 kg/m²/tahun. Sehingga jumlah emisi yang dihasilkan sebesar:

Tabel 2. Emisi dari Kegiatan Konstruksi

Parameter	Faktor Emisi (kg/m ² /tahun)	Emisi (kg/tahun)	Emisi (kg/jam)	Emisi (g/det)
TSP	0,29	49,352	0,0297	0,0082
PM ₁₀	0,086	14,635	0,0088	0,0024
PM ₂₅	0,0086	1,464	0,0009	0,0002

3. Emisi Penyiapan Lahan

Kegiatan penyiapan lahan terdiri atas tiga tahap, yaitu *land clearing*, pengupasan *top soil*, dan pengupasan *overburden*. Kegiatan penyiapan lahan dilakukan pada sebidang lahan seluas 44,2 Ha selama 10 tahun pertama. Kegiatan penyiapan lahan diasumsikan sebesar 25% dari jumlah jam operasional selama 1 tahun yang sebesar 958 jam. Sehingga dapat diasumsikan kegiatan penyiapan lahan beroperasi selama 240 jam/tahun atau perharinya sebesar 2 jam/hari. Berdasarkan Emission Factor Documentation for AP-42 Section 13.2.3 Tabel 13.2.3-1 bahwa kegiatan *land clearing* meliputi kegiatan penggalian *overburden* dengan menggunakan *bulldozer*, memiliki faktor emisi untuk parameter PM₁₀ sebesar 0,75 kg/jam dan parameter PM_{2.5} sebesar 0,105 kg/jam. Sehingga

perhitungan emisi yang dihasilkan sebagai berikut.

Tabel 3. Emisi dari Kegiatan Penyiapan Lahan

Parameter	Emisi (kg/hari)	Emisi (g/det)
E _{PM10}	1,5	0,00005
E _{PM2.5}	0,21	0,000007

4. Emisi Kegiatan Penambangan

Perhitungan emisi dari penggalian mineral dilakukan dengan kapasitas produksi 480 ton/hari dan memiliki factor emisi dari TSP sebesar 102 g/ton, PM10 sebesar 50 g/ton, dan PM2.5 sebesar 5 g/ton sehingga menghasilkan beban emisi sebagai berikut.

Tabel 4. Emisi dari Kegiatan Penggalian Bentonit

Parameter	Faktor Emisi (g/ton)	Emisi (g/hari)	Emisi (g/jam)	Emisi (g/det)
TSP	102	48.960	6.120	1,700
PM ₁₀	50	24.000	3.000	0,833
PM ₂₅	5	2.400	300	0,083

Pada perhitungan proses pemuatan bentonite dihasilkan emisi sebagai berikut.

Tabel 5. Emisi dari Kegiatan Pemuatan Bentonit

Parameter	k _{PMS}	Emisi (Kg/tahun)	Emisi (kg/jam)	Emisi (g/det)
TSP	0,74	132,470	0,138	0.038
PM ₁₀	0,35	62,655	0,065	0,018
PM ₂₅	0,053	9,488	0,010	0,003

5. Emisi Kegiatan Pengangkutan Hasil Tambang

Pada kegiatan pengangkutan hasil tambang yang dilakukan selama 250 hari dihasilkan emisi pada proses transport kendaraan.

Tabel 6. Emisi dari Kegiatan Pengangkutan Hasil Tambang

Parameter	Faktor Emisi	Emisi (Kg/tahun)	Emisi (kg/jam)	Emisi (g/det)
TSP	1,381	3.905,08	4,076	1,132
PM ₁₀	0,422	1.534,24	1,602	0,445
PM ₂₅	0,042	152,70	0,159	0,044

6. Emisi Kegiatan Pembongkaran Fasilitas Tambang

Memiliki luas bangunan 254 m² dengan lama durasi konstruksi 8 bulan dan jam operasional 1.664 jam/tahun kegiatan konstruksi untuk tipe tempat tinggal memiliki nilai faktor emisi untuk parameter TSP sebesar 0,29 kg/m²/tahun, PM₁₀ sebesar 0,086 kg/m²/tahun, dan PM_{2.5} sebesar 0,0086 kg/m²/tahun. Sehingga jumlah emisi yang dihasilkan sebesar:

Tabel 7. Emisi dari Kegiatan Pembongkaran

Parameter	Faktor Emisi	Emisi (Kg/tahun)	Emisi (kg/jam)	Emisi (g/det)
TSP	0,29	49,352	0,0297	0,0082
PM ₁₀	0,086	14,635	0,0088	0,0024
PM ₂₅	0,0086	1,464	0,0009	0,0002

7. Emisi Kegiatan Reklamasi Lahan Pasca Tambang

Pada kegiatan reklamasi lahan dihasilkan emisi sebagai berikut:

Tabel 8. Emisi dari Kegiatan Reklamasi Tambang

Parameter	K _{PMS}	Emisi (Kg/tahun)	Emisi (kg/jam)	Emisi (g/det)
TSP	0,74	972,331	1,015	0,282
PM ₁₀	0,35	459,886	0,480	0,133
PM ₂₅	0,053	69,640	0,073	0,020

8. Emisi Kegiatan Demobilisasi Peralatan Tambang

Dengan estimasi jumlah kendaraan truk setiap hari ± 5 unit/hari dan panjang jalan lintasan menuju ke area tambang rata-rata ± 10 km dengan faktor emisi CO = 8,4 g/km;

HC = 1,8 g/km; NO_x = 17,7 g/km; PM₁₀ = 1,4 g/km; CO₂ = 3172 g/kg BBM; dan SO₂ = 0,82 g/km. Berikut merupakan emisi yang dihasilkan.

Tabel 9. Emisi Bergerak Demobilisasi Kendaraan

Parameter	Faktor Emisi	Emisi (g/hari)	Emisi (g/jam)	Emisi (g/det)
CO	8,4	420	52,50	0,0146
HC	1,8	90	11,25	0,0031
NO _x	17,7	885	110,63	0,0307
PM ₁₀	1,4	70	8,75	0,0024
SO ₂	0,82	41	5,13	0,0014

Pengelolaan Emisi

Pada kegiatan penggalian bentonit oleh perusahaan, tidak terdapat penggunaan alat pengendali emisi. Hal tersebut dikarenakan seluruh emisi yang dihasilkan dari kegiatan produksi maupun penunjang adalah emisi fugitif yang tidak dikeluarkan melalui cerobong. Sehingga, bentuk pengendalian terhadap emisi fugitif khususnya partikulat akan terintegrasi dengan rencana pengelolaan emisi fugitif. Sistem pengelolaan yang digunakan berupa penyiraman secara berkala, menutup bagian dump box di truck dengan terpal, dan memberi spakbor karet di ban truck agar debu tidak bertebaran di jalan. Penyiraman jalanan tambang untuk mengendalikan partikulat tanah menggunakan air merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam industri pertambangan. Prinsip kerjanya adalah dengan menyemprotkan air secara merata ke permukaan jalanan tambang untuk menekan partikulat tanah agar tidak terbang dan tersebar ke udara. Untuk mengetahui kebutuhan air dan dosis penyiraman, pada musim kemarau dibutuhkan 2 kali frekuensi penyiraman dan 2 liter/m² dosis penyiraman sedangkan untuk musim hujan di butuhkan 1 kali frekuensi penyiraman dan 2 liter/m² dosis penyiraman sehingga kebutuhan air yang dibutuhkan dihasilkan sebagai berikut.

Tabel 10. Kebutuhan Air dan Dosis Penyiraman

Tahun	Blok	Rencana Bukaan (m ² /tahun)	Rencana Bukaan (m ² /hari)	Kebutuhan Air untuk Penyiraman (liter/hari)	
				Kebutuhan Air Musim Kemarau	Kebutuhan Air Musim Hujan
1	1	48.000	160	640	320
2	1	46.400	155	619	309
3	1	39.300	131	524	262
4	2	30.500	102	407	203
5	2	34.300	114	457	229
6	2	40.600	135	541	271
7	2	53.100	177	708	354
8	2 dan 5	41.800	139	557	279
9	1,3 dan 4	47.800	159	637	319
10	4	60.500	202	807	403

Simulasi Sebaran

Kondisi permodelan sesuai dengan data yang di dapat dari perhitungan dan lapangan, hasil perkiraan persebaran dampak disajikan dalam hasil nilai tertinggi permodelan dalam AERMOD, baik tanpa adanya pengelolaan. Selanjutnya apabila dispersi emisi melampaui baku mutu akan dilakukan pemodelan kembali dengan efisiensi adanya pengelolaan. Hasil pemodelan pada tahap penambangan ada pada gambar sebagai berikut:



Gambar 4. Dispersi TSP 24 Jam pada Tahap Penambangan (Tanpa Pengelolaan)



Gambar 5. Dispersi TSP 24 Jam pada Tahap Penambangan (Dengan Pengelolaan)



Gambar 6. Dispersi PM₁₀ 24 Jam pada Tahap Penambangan (Tanpa Pengelolaan)



Gambar 7. Dispersi PM₁₀ 24 Jam pada Tahap Penambangan (Dengan Pengelolaan)



Gambar 8. Dispersi PM_{2.5} 24 Jam pada Tahap Penambangan (Tanpa Pengelolaan)



Gambar 9. Dispersi PM_{2.5} 24 Jam pada Tahap Penambangan (Dengan Pengelolaan)

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan adanya pengelolaan konsentrasi TSP 24 jam tertinggi berada pada nilai 30,7 µg/m³. Nilai tersebut cenderung tinggi dan akan mempengaruhi kualitas udara ambien. Sedangkan pada Gambar 5 adalah gambar pemodelan dispersi TSP 24 jam setelah dilakukan pengelolaan berupa penyiraman. Berdasarkan Tabel 3-3 EMEP/EEA (European Environment Agency) - Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 - 2.A.5a, pengelolaan emisi partikulat dengan metode penyiraman lahan dapat mereduksi kadar partikulat hingga 95%. Sehingga pada Gambar 5 terjadi penurunan parameter TSP 24 jam tertinggi sehingga menjadi 1,54 µg/m³.

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan adanya pengelolaan konsentrasi PM_{10} tertinggi berada pada nilai $13,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai tersebut cenderung tinggi dan akan mempengaruhi kualitas udara ambien. Sedangkan pada Gambar 7 adalah gambar pemodelan dispersi PM_{10} setelah dilakukan pengelolaan berupa penyiraman. Berdasarkan Tabel 3-3 EMEP/EEA (European Environment Agency) - Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 - 2.A.5a, pengelolaan emisi partikulat dengan metode penyiraman lahan dapat mereduksi kadar partikulat hingga 95%. Sehingga pada Gambar 7 terjadi penurunan parameter PM_{10} tertinggi sehingga menjadi $0,753 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan adanya pengelolaan konsentrasi $PM_{2.5}$ tertinggi berada pada nilai $0,753 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai tersebut cenderung tinggi dan akan mempengaruhi kualitas udara ambien. Sedangkan pada Gambar 9 adalah gambar pemodelan dispersi PM_{10} setelah dilakukan pengelolaan berupa penyiraman. Berdasarkan Tabel 3-3 EMEP/EEA (European Environment Agency) - Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 - 2.A.5a, pengelolaan emisi partikulat dengan metode penyiraman lahan dapat mereduksi kadar partikulat hingga 95%. Sehingga pada Gambar 9 terjadi penurunan parameter $PM_{2.5}$ tertinggi sehingga menjadi $0,076 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Besaran Dampak Pembuangan Emisi yang Dihasilkan

Berdasarkan pemodelan dapat diketahui besaran konsentrasi pencemar udara ambien yang terjadi pada tahap penambangan. Hasil permodelan pada tahap penambangan sebelum dan sesudah dilakukannya pengelolaan ada pada tabel berikut.

Tabel 11. Beban Emisi yang Dihasilkan Sebelum dan Sesudah Pengelolaan

Parameter	Emisi Sebelum Pengelolaan (g/det)	Emisi Setelah Pengelolaan (g/det)	Konsentrasi Dispersi di Titik Kritis Sebelum Pengelolaan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsentrasi Dispersi di TitikTitik Kritis Setelah Pengelolaan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Pra Penambangan				
TSP	0,0082	0,00041	0,145	0,0073
PM_{10}	0,0048	0,00024	0,0073	0,00013
$PM_{2.5}$	0,0002	0,00001	0,0035	0,00018
Penambangan				
TSP (24 jam)	1,738	0,0869	30,7	1,54
TSP (1 jam)	1,738	0,0869	553	27,7
PM_{10}	0,852	0,0462	13,7	0,753
$PM_{2.5}$	0,086	0,0043	0,753	0,076
Pasca Tambang				
TSP	0,0462	0,00231	0,817	0,041
PM_{10}	0,0228	0,00114	0,403	0,0202
PM_{25}	0,0032	0,00016	0,05	0,0202

Dampak yang Diterima oleh Masyarakat Sekitar

Berdasarkan hasil pemodelan terdapat dampak yang dihasilkan dari kegiatan penambangan, berikut ringkasan estimasi polutan.

Tabel 12. Prakiraan Kualitas Udara Abien Sebelum dan Sesudah Proyek di Lokasi Rencana Penambangan

No.	Parameter	Baku Mutu*)	Sebelum Proyek		Setelah Proyek (Sebelum Pengelolaan)		Setelah Proyek (Sebelum Pengelolaan)		Satuan
			1	2	1	2	1	2	
1.	Sulfur Dioksida, SO ₂	150 (1 Jam)	<42	<42	<42	<42	<42	<42	µg/m ³
2.	Karbon Monoksida, CO	10.000 (1 Jam)	934	1.094	934	1.094	934	1.094	µg/m ³
3.	Nitrogen Dioksida, NO ₂	200 (1 Jam)	<11	<11	<11	<11	<11	<11	µg/m ³
4.	Oksidan, O ₃	150 (1 Jam)	<27,8	<27,8	<27,8	<27,8	<27,8	<27,8	µg/m ³
5.	Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	160 (3 Jam)	29	30	29	30	29	30	µg/m ³
6.	Partikulat Debu (TSP) (24 Jam) Sebelum Pengelolaan	230 (24 Jam)	51	64	81,7	94,7	52,54	65,54	µg/m ³
7.	Partikulat Debu (TSP) (1 Jam) Sebelum Pengelolaan	230 (24 Jam)	51	64	604	617	78,7	91,7	µg/m ³
8.	Partikulat Debu (PM10)	75 (24 Jam)	26	28	39,7	41,7	26,75	28,75	µg/m ³
9.	Partikulat Debu (PM2,5)	55 (24 Jam)	19	21	19,75	21,75	19,08	21,08	µg/m ³
10.	Timbal (Pb)	2 (24 Jam)	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	µg/m ³
11.	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	42** (30 Menit)	<1,15	<1,15	<1,15	<1,15	<1,15	<1,15	µg/N m ³
12.	Ammonia (NH ₃)	1.360** (24 Jam)	<39,8	<39,8	<39,8	<39,8	<39,8	<39,8	µg/N m ³
13.	Kebisingan	55***	51,5	53,2	51,5	53,2	51,5	53,2	dB

KESIMPULAN

Pada kegiatan penambangan yang dilakukan perusahaan terdapat berbagai sumber emisi yang dihasilkan dengan parameter TSP, PM₁₀, dan PM_{2.5} dan gas seperti NO_x, SO₂, dan CO. Untuk parameter TSP, PM₁₀, dan PM_{2.5} berasal dari sumber emisi dari kegiatan konstruksi pembangunan fasilitas penambangan, penyiapan lahan, kegiatan penambangan, pengangkutan hasil tambang, pembongkaran fasilitas tambang, reklamasi lahan pasca tambang, dan demobilisasi peralatan tambang. Sedangkan NO_x, SO₂, dan CO dihasilkan hanya dari kegiatan mobilisasi peralatan konstruksi dan penambangan. Untuk mengurangi emisi yang ditimbulkan, perusahaan menerapkan teknologi pengelolaan dengan melakukan penyiraman jalanan tambang secara berkala, pengelolaan dengan metode penyiraman tersebut terbukti efektif dalam meremoval polutan hingga 95% hal ini terlihat dari penurunan konsentrasi TSP 24 jam dari 30,7 µg/m³ menjadi 1,54 µg/m³, PM₁₀ dari 13,7 µg/m³ menjadi 0,753 µg/m³, PM_{2.5} dari 0,753 µg/m³ menjadi 0,076 µg/m³. Sehingga dapat disimpulkan dampak emisi partikulat yang disebabkan oleh kegiatan penambangan akan berdampak pada kualitas udara ambien. Maka dari itu pengelolaan terhadap dampak tersebut harus dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Badan Pusat Statistik Kabupaten Pacitan Dalam Rangka 2024*. Pacitan: Badan Pusat Statistik.
- Cecep Ruskandi, A. S. (2020). Karakterisasi fisik dan kimiawi bentonite untuk membedakan natural sodium bentonite dengan sodium bentonite hasil aktivasi. *Jurnal Polimesin, Bandung*.
- Direktorat jenderal pengendalian pencemaran dan kerusakan lingkungan. (2010). *PERATURAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP NOMOR 12 TAHUN 2010 TENTANG PELAKSANAAN PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI DAERAH*. Retrieved from [ppkl.menlhk.go.id: https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/756/190930174018PEREMEN%20LH%20NOMOR%2012%20TAHUN%202010.pdf](https://ppkl.menlhk.go.id/ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/756/190930174018PEREMEN%20LH%20NOMOR%2012%20TAHUN%202010.pdf)
- Environmental Protection Agency. (2006). *www.epa.gov*. Retrieved from AP-42: Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors-stationary-sources>
- European Environmental Agency. (2009, June 18). *www.eea.europa.eu*. Retrieved from EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2009: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>
- European Environmental Agency. (2019, October 17). *www.eea.europa.eu*. Retrieved from EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2019>