EVALUASI DAN PERENCANAAN LAJU VOLUME SERTA DIMENSI CEROBONG TERHADAP POLA SEBARAN EMISI DARI CEROBONG INDUSTRI SEMEN DI TARJUN

EVALUATION AND PLANNING OF VOLUME RATE AND COLLECTION DIMENSIONS ON EMISSION DISTRIBUTION PATTERNS FROM CEMENT INDUSTRY CHILWAYS IN TARJUN

Muhammad Alif Azhar[1], Riza Miftahul Khair[1], Rony Riduan[1], Ihda Mazaya[1]
[1]Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km 36,5 Banjarbaru Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia
E-mail: azhralf@gmail.com

ABSTRAK

Pengelolaan dan pengendalian suatu pencemaran udara sangat dibutuhkan untuk dampak pencemaran udara tidak sangat parah. Industri semen salah satu industri yang menggunakan pemanasan suhu tinggi dalam proses produksi. Perhitungan Neraca massa diperlukan untuk melihat banyaknya bahan yang masuk serta bahan yang keluar dari suatu proses, berdasarkan menggunakan hukum kekekalan massa, ialah besarnya massa yang masuk sama dengan besarnya massa yang keluar. Salah sumber emisi tidak bergerak yaitu cerobong asap. Evaluasi terhadap dimensi cerobong juga dilakukan agar dapat menjadi acuan dalam kecepatan gas buang yang optimal. Hal yang diperhatikan dalam menganalisis suatu kualitas udara menggunakan analisis terhadap model dispersi polutan. Aplikasi yang dapat dilakukan untuk memprediksi sebaran polutan adalah AERMOD. Jumlah keseluruhan massa masuk ke dalam Suspension Preheater adalah 748.682,78 kg/jam. dengan total massa output 157.506,6898 kg/jam dan total massa kehilangan 591.176,09 kg/jam; Berdasarkan perhitungan untuk merencanakan volume dan dimensi cerobong dengan memperhatikan keadaan sekitar titik sumber untuk tinggi cerobong adalah 72 meter dan 65 meter. Dengan kecepatan gas buang berturut-turut adalah 20 m/s dan 21 m/s; Berdasarkan pola sebaran dengan kurun waktu 24 jam diketahui bahwa konsentrasi TSP, SO_2, dan NO_2 di udara disaat titik penerima pada ketinggian 1,5 meter dari permukaan tanah rata-rata mempunyai konsentrasi maksimum TSP, SO_2, dan NO_2 berturut-turut sebesar 8,323 $\mu g/m^3$, 36,171 $\mu g/m^3$, dan 38,307 $\mu g/m^3$. Sedangkan perbedaan antara yang disimulasikan dan dalam keadaan dilapangan, lebih baik dengan tinggi cerobong 72 meter agar memaksimalkan sebaran emisi dibandingkan tinggi cerobong 65 meter.

Kata kunci: AERMOD, Cerobong, Emisi, Neraca Massa.

ABSTRACT

Management and control of an air pollution is needed for the impact of air pollution is not very severe. The cement industry is one of the industries that uses high temperature heating in the production process. Mass balance calculations are needed to see the amount of material entering and leaving a process, based on the law of conservation of mass, that is, the amount of mass that enters is equal to the amount of mass that leaves. One source of immovable emissions is the chimney. Evaluation of the chimney dimensions is also carried out so that it can be a reference in the optimal exhaust gas velocity. Things to consider in analyzing an air quality using an analysis of the pollutant dispersion model. An application that can be used to predict the distribution of pollutants is AERMOD. The total mass entering the Suspension Preheater is 748,682.78 kg/hour. with a total mass output of 157,506,6898 kg/hour and a total mass loss of 591,176.09 kg/hour; Based on calculations to plan the volume and dimensions of the chimney by taking into account the conditions around the source point, the height of the chimney is 72 meters and 65 meters. With exhaust gas velocity is 20 m/s and 21 m/s, respectively; Based on the distribution pattern with a period of 24 hours, it is known that the concentration of TSP, SO2, and NO2 in the air when the receiving point is at an altitude of 1.5 meters from the ground surface has a maximum concentration of TSP, SO2, and NO2 respectively of 8,323 g/ m3, 36,171 g/m3, and 38,307 g/m3. While the difference between the simulated and in the field is better with a chimney height of 72 meters in order to maximize emission distribution compared to a chimney height of 65 meters.

Keywords: AERMOD, Chimney, Emissions, Mass Balance.

I. PENDAHULUAN

Udara adalah gabungan dari banyaknya macam-macam gas yang memiliki suatu perbandingan tidak stabil, tergantung dari suhu, tekanan dan serta lingkungan disekitar. Senyawa dari setiap unsur yang terdapat pada udara baik bersih atau kering, tersusun dari senyawa nitrogen (N_2) 78,09 %, oksigen (O_2) 21,94 %, argone (Ar) 0,93 %, karbondioksida (CO_2) 0,032 % dan gas-gas senyawa lainnya (Kamal, 2015). Menurut Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021 terkait Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pencemaran udara merupakan sebagai proses masuk atau di masukkannya suatu zat, energi, atau komponen lainnya ke diudara disebabkan kegiatan manusia sampai melebihi dari standar baku mutu udara ambien yang telah ditentukan.

Pengelolaan dan pengendalian suatu pencemaran udara sangat dibutuhkan sehingga dampak dari pencemaran udara tidak parah. Upaya untuk mengurangi pencemaran udara ialah dengan mengetahui lokasi yang rawan dampak dari konsentrasi polutan, terutama di daerah industri dan transportasi (Turyanti dkk., 2016). Penurunan kondisi udara yang diakibatkan dari kegiatan operasional industri adalah suatu kerugian yang bersifat kualitatif (kerusakan yang tidak dapat dinilai). (Lunaria dkk., 2017). Pabrik semen merupakan industri yang menggunakan pemanasan dengan suhu tinggi pada proses produksi. Pabrik Indocement di Tarjun adalah Pabrik Semen di Tarjun Kecamatan Kalumpang yang merupakan pabrik pembuatan semen di wilayah Kabupaten Kotabaru. Bahan bakar utama yang digunakan adalah batubara sedangkan bahan baku utama berupa batu kapur (Suryani, 2010). Perhitungan neraca massa dilakukan agar dapat menentukan nilai jumlah bahan yang masuk serta bahan yang keluar dari proses yang berdasarkan pada hukum kekekalan massa, adalah

hasil aliran yang masuk sama dengan hasil aliran yang keluar. Contoh dari sumber titik tidak bergerak untuk pencemaran udara adalah cerobong asap.

Menurut Damayanti R., dkk (2019) emisi yang dihasilkan dari cerobong dapat mengakibatkan penurunan kualitas udara disekitar apabila tidak dilakukannya pemantauan emisi yang dihasilkan. Evaluasi terhadap dimensi cerobong juga dilakukan agar dapat menjadi acuan dalam kecepatan gas buang yang optimal. Hal yang perlu diperhatikan saat menganalisis sebaran suatu kualitas udara ialah menggunakan model sebaran polutan. Aplikasi yang digunakan untuk memprediksi dispersi polutan adalah AERMOD. *Departement Of Environment* (DOE) sudah menetapkan bahwa AERMOD merupakan aplikasi permodelan standar dalam melakukan suatu prediksi proses pola sebaran polutan untuk keperluan evaluasi *Environmental Impact Assessment* (EIA) (Mokhtar, et al, 2014).

Penelitian ini diperlukan bertujuan untuk mengidentifikasi neraca massa industri pada cerobong *Raw Mill* atau *Kiln* sebelum menghasilkan gas buang ke udara, merencanakan dan evaluasi laju volume serta dimensi untuk pengendalian udara pada daerah terpapar pencemaran udara dan menentukan pola dari sebaran emisi yang dihasilkan melalui cerobong *Raw Mill* atau *Kiln*. Melalui model dispersi dan evaluasi perancangan laju volume serta dimensi cerobong untuk mengoptimalkan pola sebaran emisi, sehingga bisa dimodelkan dari konsentrasi sebaran polutan dari berbagai titik sesuai kondisi meteorologi.

II. METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan penelitian yang dilakukan adalah studi lapangan, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis hasil sampai ke tahap terakhir adalah kesimpulan penelitian. Penelitian ini diperlukannya data sekunder yaitu data hasil pengukuran emisi pada bulan Januari – Desember 2021 yang diperoleh dari ***PT. Indocement*** di Tarjun.

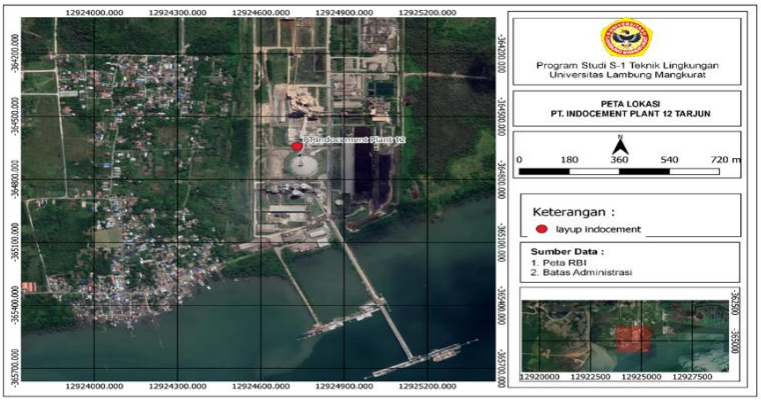
2.1. Data dan Lokasi

Lokasi penelitian dilakukan pada sumber emisi dari cerobong cerobong *Raw Mill* atau *Kiln* yang terletak di *PT. Indocement* di Tarjun, dengan koordinat 116º 06’ 17,4” E; 03º 16’ 20,3” S. Berikut adalah spesifikasi dari cerobong :

Tabel 2.1 Profil Cerobong (*Raw Mill* atau *Kiln* I)

Kode Cerobong	RM 1
Elevasi	21 mdpl
Tinggi Cerobong	72 m
Diameter Cerobong	4,4 m
Kapasitas	7.500 ton/hari

(*Sumber : PT. Indocement plant 12 Tarjun*)



(**Gambar 2.1** Lokasi Penelitian)

Sumber data yang digunakan pada penelitian adalah berasal dari buku-buku, dan jurnal ilmiah yang berkaitan dengan pokok pembahasan. Data yang diperlukan ialah data dari sumber emisi yang berkaitan erat terhadap penelitian ini tentang pola dispersi menggunakan model *AERMOD*.

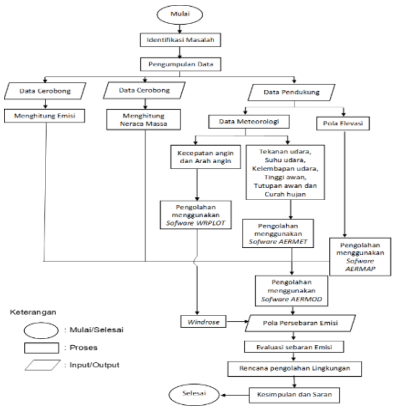
2.1.1. Data Emisi

Data hasil emisi cerobong Kiln yang akan dikumpulkan diperoleh dari PT. Indocement Plant 12 Tarjun, yang terdapat didalam Laporan Izin Lingkungan RKL & RPL Semester I dan 2 Tahun 2021. Data emisi cerobong asap merupakan data hasil pengukuran yang sesuai dengan data pengukuran di CEMS *(Continous Emission Monitoring System)* yang berasal dari sumber emisi tidak bergerak (tetap) cerobong *Raw Mill* atau *Kiln*.

2.1.2. Data Meteorologi

Pengambilan data sekunder adalah penyalinan atau pengadaan data dari dinas/instansi terkait. Data hasil emisi pada cerobong didapatkan dari *monitoring* gas buang dari alat pantau CEMS *(Continues Emission Monitoring System)*. Pengukuran yang diperlukan dari data meteorologi yang berasal dari data kecepatan angin, data arah angin, data suhu udara ambien serta lainnya sebagai faktor pendukung dari data yang dibutuhkan.

2.2. Kerangka Perencanaan



(**Gambar 2.2** Diagram Alir Perencanaan)

Berdasarkan *flowchart* diatas, penelitian saya dimulai dengan mengidenfikasi masalah yang dibutuhkan. Kemudian, diperlukan pengelompokan data, yang diperoleh dari data meteorologi yang diperoleh dari BMKG Gusti Sjamsir Alam dan Power Data, data emisi, yang diperoleh dari pengukuran PT. Indocement Plant 12 Tarjun, dan data produksi pada tahun 2021 untuk menganalisis serta kala rencana pada neraca massa serta analisis *volume* dan dimensi cerobong. Data uji emisi yang sudah didapatkan akan menjadi salah satu data penunjang dalam pembuatan *file* PFL (file profil). Pembuatan *file* PFL ini juga membutuhkan data meteorologi, yaitu data suhu dalam per-jam, kelembapan udara dalam per-jam, curah hujan dalam per-jam, radiasi matahari dalam per-jam, dan tutupan awan dalam per-jam. Data kecepatan angin juga dibutuhkan dalam pembuatan *file* ini dan akan digunakan dalam pengolahan WRPLOT untuk menghasilkan Peta *Windrose*. File PFL itu kemudian akan diolah menggunakan sistem AERMOD, yang bersama Peta *Windrose*, akan menghasilkan peta pemodelan untuk memprediksi pola sebaran emisi cerobong asap *Raw Mill* atau *Kiln*.

2.3. Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. dalam suatu proses pengolaha terjadi jumlah bahan yang masuk akan sama dengan jumlah bahan yang keluar sebagai produk yang dikehendaki ditambah dengan jumlah yang hilang atau produk samping. Persamaan neraca massa secara umum adalah:

Massa masuk = massa keluar + massa yang terakumulasi
MA + MB + MC = MD + ME + Makumulasi..... (2.1)

2.4. Analisis Volume dan Dimensi Cerobong

Dalam menganalisis volume dan dimensi sutatu cerobong maka diperlukan dalam menghitung suatu laju emisi, tinggi cerobong, kepulan asap (*plume rise*), dan tinggi efektif cerobong. Laju emisi juga dipengaruhi oleh suatu kecepatan gas buang (Vs) cerobong dalam satuan m/s dan luas penampang (A) cerobong dalam satuan m^2 yang keluar dari cerobong dalam satuan m^3/s (Sarwono, dkk. 2021). Persamaan yang digunakan adalah perhitungan untuk laju aliran gas buang yang di induksi (Suvo, 2010).

$$Q = C.A\sqrt{2.g.h\,\frac{T_i - T_o}{T_i}} \quad \text{.....(2.2)}$$

Keterangan :

Q = Laju emisi (m^3/s)
A = Luas penampang cerobong (m^2)
C = Koefisien debit (biasanya diambil dari 0,65 hingga 0,70)
g = Percepatan gravitasi di permukaan laut, (9,807 m/s^2)
h = Ketinggian dari cerobong (m)
T_i = Suhu rata-rata gas buang (^oK)
T_o = Suhu udara di atmosfer (^oK)

Perhitungan untuk polutan sebaran emisi maka harus diperlukan perhitungan kecepatan angin di ketinggian cerobong. Kecepatan angin dari suatu ketinggian cerobong dapat dikerjakan

menggunakan persamaan *exponent*, dengan menggunakan nilai *exponent*, untuk menentukan suatu nilai kelas kestabilan atsmosfer maka menggunakan **Tabel 2.6** (De Visscher, 2013).

Tabel 3.1 Penentuan Exponen n berdasarkan Kelas Kestabilan

kategori Stabilitas	A	B	C	D	E	F
n *(rural)*	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30
n *(urban)*	0,15	0,15	0,20	0,25	0,40	0,60

(*Sumber: Assegaf, 2018*)

$$\frac{u_s}{u} = \left(\frac{h_s}{h_g}\right)^P \quad \text{.....(2.3)}$$

Keterangan :

u_s dan u = kecepatan gas buang dan kecepatan diatas cerobong (m/s)
h_s dan h_g = ketinggian cerobong (diatas 10 meter dan ketinggian cerobong (m)
p = fungsi stabilitas atmosfer (sub urban golongan C : 0,20)

Hasil dari nilai kecepatan angin sekitar cerobong pada ketinggian 10 m selanjutnya akan digunakan sebgai perhitungan di kepulan asap *(plume rise)*. Berdasarkan penelitian *Nevers* (2000), untuk perhitungan kepulan asap (*plume rise*) dilakukan untuk memperkirakan nilai Δh dan H untuk digunakan dalam persamaan *Gaussian* dan perhitungan konsentrasi polutan yang lebih kompleks. Persamaan Holland untuk *plume rise* sebagai berikut:

$$\Delta H = \frac{Vs\,D}{u}\,(1{,}5 + 2{,}68 \times 10^{-3} P D\,(\frac{Ts-Ta}{Ts}) \quad \text{.....(2.4)}$$

Keterangan :

ΔH = Tinggi kepulan (m)
Vs = Kecepatan gas buang (m/s)
D = Diameter cerobong (m)
u = Kecepatan angin (m/s)
P = Tekanan atmosfer (milibar)
Ts = Suhu gas buang (K)
Ta = Suhu atmosfer (K)

Setelah mendapatkan nilai dari kepulan asap (*Plume Rise*) dengan itu hasil daru tinggi cerobong efektif bisa dihitung dengan menambahkan nilai tinggi cerobong dan nilai tinggi kepulan :

$$H = \Delta H + h - z \quad \text{.....(2.5)}$$

Keterangan :

H = Tinggi efektif cerobong (m)
ΔH = Tinggi kepulan (m)
h = Tinggi cerobong (m)
z = ketinggian reseptor, 10% ketinggian cerobong (m)

2.5. Pembuatan Pola Sebaran Emisi

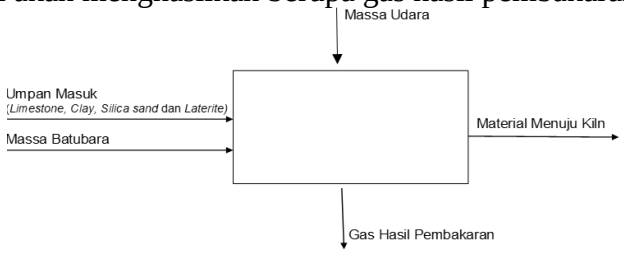
Apabila konsentrasi dari polutan diketahui pada berbagai titik, maka akan dibuat pola sebaran emisi, pola sebaran emisi ini akan memberikan gambaran informasi tentang nilai dari sebaran polutan pada area. Setelah data-data yang diperlukan telah dipenuhi, maka AERMET dapat dijalankan sehingga menghasilkan output yang berguna untuk menjalankan AERMOD.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Neraca Massa

3.1.1. Neraca Massa Cerobong *Raw Mil* atau *Kiln* (RM 1)

Diagram alir massa di *Suspension Preheater* ditunjukkan pada **Gambar 3.1**, neraca masuk di *Suspension Preheater* berasal dari massa umpan masuk dan massa batubara yang menghasilkan keluaran berupa material yang menuju unit *Raw Mill* atau *Kiln*. Sedangkan massa udara yang masuk akan menghasilkan berupa gas hasil pembakaran.



Gambar 3.1 Diagram Alir Massa di Suspension Preheater

3.1.2. Massa Umpan Masuk

Berdasarkan perhitungan maka akan didapat komposisi dan berat umpan SP *feed* tanpa IL sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi dan Berat Umpan Masuk *Suspension Preheater* tanpa IL

Komponen	Komposisi (% berat)	Fraksi Massa	Berat (kg/jam)
SiO2	13,45628	0,13456	33.570,72
Al2O3	3,33367	0,03334	8.316,84
Fe2O3	2,27987	0,02280	5.687,82
CaCO3	79,86625	0,79866	19.9250,30
MgCO3	1,06394	0,01064	2.654,32
Total	100,00	1,00	249.480,00

(Sumber: perhitungan massa umpan masuk)

Umpan masuk dari Raw Mill menuju ke *Suspension Preheater* sebesar 252.000 kg/jam, diketahui kandungan H_2O dalam *SP* ialah 1% maka massa umpan masuknya adalah 2.520 kg/jam. Umpan masuk (kering) menuju ke *Suspension Preheater* adalah massa umpan masuk dikurang massa umpan masuk kandungan H_2O, maka sebesar 249.480 kg/jam.

3.1.3. Massa Umpan Batubara

Jumlah massa batubara berdasarkan perhitungan maka akan didapat komposisi dan berat sebagai berikut :

Tabel 3.2 Komposisi dan Berat Ash Batubara masuk SP tanpa IL

Komponen	Komposisi (% berat)	Fraksi Massa	Berat (kg/jam)
SiO2	53,96946	0,53969	12531,71
Al2O3	15,72519	0,15725	3651,39
Fe2O3	8,072519	0,08073	1874,44
CaO	20,99236	0,20992	4874,43
MgO	1,240458	0,01240	288,03
Total	100,00	1,00	23.220,00

(Sumber : perhitungan massa umpan Batubara)

Massa input atau umpan masuk batubara menuju *Suspension Preheater* sebesar 27.000 kg/jam, diketahui kandungan H_2O dalam *SP* ialah 14% maka massa umpan masuknya adalah 3.780 kg/jam. Umpan masuk (kering) menuju ke *Suspension Preheater* adalah massa umpan masuk dikurang massa umpan masuk kandungan H_2O, maka sebesar 23.220 kg/jam.

3.1.4. Komposisi Material Masuk dan Keluar

Berdasarkan input **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2** melalui perhitungan neraca massa maka akan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 3.3 Neraca Massa di *Suspension Preheater*

Input		**Output**		
Keterangan	Massa (Kg/Jam)	Keterangan	Massa (Kg/Jam)	
			Produk (Kg/Jam)	Kehilangan (Kg/Jam)
Umpan Masuk	252.000,0	Umpan Keluar	157.506,6898	
Umpan Batubara	27.000,0	Dust Return		22.237,47464
Massa Udara Masuk	469.682,7867	Ghp		567.606,858
		Massa Terakumulasi		1.331,764
Jumlah	748.682,7867	Jumlah	157.506,6898	591.176,09664
Total	748.682,787	Total	748.682,7864	

(Sumber : perhitungan massa umpan Batubara)

Pada **Tabel 3.3** dapat dilihat komposisi neraca massa material masuk dan keluar, Jumlah Neraca massa input dan neraca massa Output adalah sama. Melalui perhitungan maka dapat ditentukan massa yang masuk ke dalam *Suspension Preheater* berturut-turut adalah umpan masuk sebesar 25.2000 kg/jam, umpan masuk batubara sebesar 27.000 kg/jam dan massa udara masuk sebesar 469.682,78 kg/jam. Jumlah keseluruhan massa masuk ke dalam *Suspension Preheater* adalah 748.682,78 kg/jam. Sedangkan, massa yang keluar dari *Suspension Preheater* berturut-turut adalah umpan keluar sebesar 157.506,68 kg/jam, *dust return* sebesar 22.237, 47 kg/jam, *good handling practices* (GHP) sebesar 567.606,85 kg/jam dan massa yang terakumulasi sebesar 591.176,09 kg/jam. Jumlah keseluruhan massa masuk ke dalam *Suspension Preheater* adalah 748.682,78 kg/jam.

3.2. Volume dan Dimensi Cerobong

3.2.1. Laju Emisi

Tabel 3.4 Laju Emisi gas buang pada suatu ketinggian Cerobong

No	Tinggi Cerobong (m)	Laju Emisi (m^3/s)
1	65	307,6301
2	72	323,7713
3	79	339,1452
4	85	351,7885
5	92	365,9873
6	99	379,6555

(Sumber : perhitungan laju emisi gas buang)

Berdasarkan **Tabel 3.4** diatas nilai yang diperlukan adalah luas penampang maka nilai A dapat diketahui sebesar 15,1976 m^2, koefisien debit sebesar 0,65. Suhu rata-rata dalam cerobong sebesar 1273,15 kelvin, suhu udara di atmosfer sebesar 304 kelvin. Perusahaan Indocement di Tarjun mengemisikan tiga polutan utama yaitu TSP, SO_2, dan NO_2 dengan laju emisi tertinggi adalah 379,655 m^3/s dengan ketinggian cerobong sebesar 99 m. Sedangkan untuk nilai laju emisi terendah adalah 307,630 m^3/s dengan ketinggian cerobong sebesar 65 m. Kecepatan aliran gas yang keluar sesuai persyaratan umum perencanaan cerobong adalah sebaiknya lebih besar dari 20 m/detik sehingga gas-gas yang keluar dari cerobong akan terhindar dari turbulensi. Kecepatan juga dibutuhkan untuk menentukan tinggi efektif sebuah cerobong agar bisa menjadi rekomendasi dari sebuah perencanaan cerobong.

3.2.2. Stabilitas Atmosfer

Pada **Tabel 3.5** Kriteria untuk radiasi matahari tidak definisikan secara tegas untuk semua kondisi dan memerlukan interpretasi dari pengguna (Assegaf, 2018).

Tabel 3.5 Kondisi Atmosfer dalam Berbagai Kelas Stablitas

Kecepatan angin permukaan (m/det)	Radiasi matahari siang hari			Keawanan malam hari	
	Kuat	Sedang	Rendah	Berawan (≥4/8)	Cerah (≥3/8)
<2	A	A- B	B	E	F
2 – 3	A- B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

(Sumber : Damayanti, dkk. 2019)

Keterangan:

a. Kecepatan angin permukaan diukur pada ketinggian 10 meter di atas permukaan
b. Siang hari pada musim panas yang cerah dengan ketinggian matahari > 60o di atas garis horizon.
c. Siang hari musim panas sedikit gumpalan awan, atau siang hari cerah dengan ketinggian matahari 35o – 60o celcius di atas horizon.

d. Siang hari menjelang sore, atau siang hari musim panas yang berawan, atau siang hari musim panas dengan sudut ketinggian matahari 15^o – 35^o
e. Keawanan didefinisikan sebagai fraksi dari penutupan langit oleh awan.

Perhitungan untuk konsentrasi dispersi emisi maka harus dibutuhkan nilai kecepatan angin di ketinggian cerobong. Kecepatan angin di ketinggian cerobong dapat diselesaikan menggunakan persamaan dibawah, dengan menggunakan nilai exponen dapat dilihat pada **Tabel 3.6**: (De Visscher, 2013).

Tabel 3.6 Penentuan Exponen n berdasarkan Kelas Kestabilan

kelas stabilitas	A	B	C	D	E	F
n (rural)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30
n (urban)	0,15	0,15	0,20	0,25	0,40	0,60

(Sumber: Assegaf, 2018)

$$\frac{u_s}{u} = \left(\frac{h_s}{h_g}\right)^P \quad \text{.....(3.1)}$$

Keterangan :

u_s dan u = kecepatan gas buang dan kecepatan diatas cerobong (m/s)
h_s dan h_g = ketinggian cerobong (diatas 10 meter dan ketinggian cerobong (m)
p = fungsi stabilitas atmosfer (sub urban golongan C : 0,20)

Tabel 3.7 Kecepatan angin disekitar cerobong

No	Periode Waktu	Kecepatan Gas Buang (m/s)	Tinggi Cerobong (m)	Tinggi Cerobong Diatas (m)	Kecepatan Angin Disekitar (m/s)
1	2021	20	65	10	29
2	2021	21	72	10	37
3	2021	22	79	10	40
4	2021	23	85	10	42
5	2021	24	92	10	45
6	2021	25	99	10	47

(Sumber : perhitungan kecepatan angin)

Data yang digunakan untuk mencari kecepatan angin disekitar cerobong maka dibutuhkannya nilai dari kecepatan gas buang, tinggi cerobong serta 10 meter tinggi dari cerobong. Berdasarkan **Tabel 3.7** kecepatan angin yang terendah sebesar 29 m/s dengan tinggi cerobong sebesar 65 m. Sedangkan nilai kecepatan angin tertinggi sebesar 47 m/s dengan ketinggian cerobong sebesar 95,41 m. Dari tabel diatas juga dapat dilihat bahwa suatu kecepatan gas buang dan tinggi suatu cerobong dapat mempengaruhi dari kecepatan angin disekitar cerobong pada ketinggian 10 m. Hasil dari nilai kecepatan angin sekitar cerobong pada ketinggian 10 m selanjutnya akan digunakan sebgai perhitungan di kepulan asap *(plume rise)*.

3.2.3. Kepulan Asap (*Plume Rise*)

Menurut Nevers (2000), untuk nilai dari kepulan asap (*plume rise*) maka digunakan sebagai memperkirakan suatu nilai dari Δh dan H untuk digunakan pada persamaan *Gaussian* serta perhitungan konsentrasi polutan yang lebih rumit.

Tabel 3.8 Kepulan Asap (*Plume Rise*)

No	Periode waktu	Kecepatan gas buang (m/s)	Plume Rise (m)
1	2021	20	3,5
2	2021	21	2,9
3	2021	22	2,8
4	2021	23	2,8
5	2021	24	2,7
6	2021	25	2,6

(Sumber : perhitungan kepulan asap)

Ketinggian dari kepulan asap tidak akan sama hal ini dikarenakan oleh banyaknya faktor, seperti kecepatan dari angin, kecepatan dari emisi gas buang, kecepatan dari *linear* gas buang dalam cerobong, percepatan dari gravitasi, kelas kestabilan udara, serta selisih dari temperatur gas buang serta temperatur udara lingkungan. Berdasarkan **Tabel 3.8** nilai kepulan asap (*plume rise*) tertinggi sebesar 3,6 m dengan kecepatan gas yang keluar sebesar 20 m/s. Sedangkan, tinggi cerobong yang terendah sebesar 2,6 m dengan kecepatan gas yang keluar sebesar 25 m/s.

3.2.4. Tinggi Efektif Cerobong

Setelah mendapatkan nilai dari kepulan asap (Plume Rise) dengan demikian tinggi cerobong efektif dapat dihitung dengan menjumlahkan tinggi cerobong dan tinggi kepulan:

Tabel 3.9 Tinggi Efektif Cerobong

No	Periode waktu	Kecepatan gas buang (m/s)	Tinggi Cerobong (m)	Plume Rise (m)	Tinggi Cerobong Efektif (m)
1	2021	20	65	3,46	61,96
2	2021	21	72	2,90	67,70

(Sumber : perhitungan Tinggi Efektif Cerobong)

Berdasarkan **Tabel 3.9** memperlihatkan bahwa tinggi sebuah cerobong dipengaruhi oleh suatu kecepatan gas yang keluar dari cerobong, nilai dari tinggi cerobong efektif sebesar 61,70 m dengan kecepatan gas buang sebesar 21 m/s dan tinggi kepulan asap sebesar 2,90 m untuk tinggi cerobong sebesar 72 m. Sedangkan, nilai efektif cerobong dengan tinggi cerobong 65 m adalah 61,96 m dengan kecepatan gas buang sebesar 20 m/s dan kepulan asap sebesar 3,46 m, sesuai dengan persyaratan perencanaan cerobong suatu industri.

3.3. Analisis Sumber Emisi

Pada penelitian ini unit cerobong yang digunakan adalah *raw mill* atau *kiln* yang menjadi sumber emisi titik (*point source*) dalam penelitian simulasi dispersi ini. Berikut merupakan **Tabel 3.10** dan **Tabel 3.11** yang menampilkan iventarisasi hasil uji yang terdapat pada PT. X di Tarjun.

Tabel 3.10 Hasil pengukuran emisi *Raw Mil/Kiln* menggunakan *CEMS* semester 1

Parameter	Baku Mutu (Mg/Nm^3)	Hasil Pengukuran						Rata-Rata
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	
Partikulat	70	46,3	50,05	214,2	74	51,6	56,6	82,13
SO_2	650	189,3	183,58	279	160,8	162,3	160,2	189,20
NO_2	800	293,39	255,34	214,2	272,6	238,9	210,7	247,52

Sumber : Data Primer Tahun 2021 (PT.Indocement Plant 12 Tarjun)
Baku Mutu :PERMENLHK NO.P.19/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2/2017 Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Semen.

Tabel 3.11 Hasil pengukuran emisi *Raw Mil/Kiln* menggunakan *CEMS* semester 2

Parameter	Baku Mutu (Mg/Nm^3)	HASIL PENGUKURAN						Rata-Rata
		Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
Partikulat	70	50,76	48,6	51,6	49	48,3	44,8	48,84
SO_2	650	359,65	393,63	106,2	326	210,5	190,8	264,46
NO_2	800	200,89	219,14	209	212,2	175,7	282,5	216,57

(Sumber : Data Primer Tahun 2021 (PT.Indocement Plant 12 Tarjun)
Baku Mutu: Baku Mutu Emisi Usaha Kegiatan Industri Semen.

berdasarkan peraturan mentri lingkungan hidup dan kehutan no. 19 tahun 2017 mengenai baku mutu emisi usaha dan/atau kegiatan industri semen tidak bergerak, konsentrasi emisi yang diperoleh dari cerobong *Power Plant* masih berada dibawah standar baku mutu Partikulat, SO_2, dan NO_2 industri semen 70 mg/Nm^3, 100 mg/Nm^3 dan 550 mg/Nm^3.

3.3.1. Laju Emisi

Nilai konsentrasi emisi yang diperlukan pada penelitian ini ialah hasil uji emisi pada tahun 2021. konsentrasi emisi dapat diproses ke dalam AERMOD maka nilai yang dimiliki dengan satuan mg/m^3 harus dikonversi ke dalam bentuk laju emisi dengan satuan g/s. Hasil perhitungan laju emisi partikulat, SO_2, dan NO_2 pada **Tabel 3.12** dan **Tabel 3.13**.

$$E = \frac{Q \times C}{1000} \quad \text{(3.2)}$$

Dimana :
E = Laju emisi (g/s)
Q = Debit aktual gas buang (m^3/s)
C = Konsentrasi emisi polutan (mg/m^3)

Tabel 3.12 Hasil Perhitungan Laju emisi untuk tinggi cerobong 72 m

Tahun	Parameter	Konsentrasi rata-rata	Debit aktual	Laju emisi

		(mg/m^3)	gas buang (m^3/s)	(g/s)
	Partikulat	65,48		21,20
2021	SO_2	226,83	323,77	73,44
	NO_2	232,05		75,13

(Sumber : perhitungan laju emisi untuk tinggi cerobong 72m)

Tabel 3.13 Hasil Perhitungan Laju emisi untuk tinggi cerobong 65 m

Tahun	Parameter	Konsentrasi rata-rata (mg/m^3)	Debit (m^3/s)	Laju emisi (g/s)
	Partikulat	65,48		20,14
2021	SO_2	226,83	307,63	69,78
	NO_2	232,05		71,38

(Sumber : perhitungan laju emisi untuk tinggi cerobong 72m)

Berdasarkan pada **Tabel 3.12** perhitungan untuk polutan Partikulat, SO_2, dan NO_2 nilai laju emisi berturut-turut sebesar 21,20 g/s, 73,44 g/s, dan 75,13 g/s untuk tinggi cerobong sebesar 72 m. Sedangkan, pada **Tabel 3.13** perhitungan untuk polutan Partikulat, SO_2, dan NO_2 nilai laju emisi berturut-turut sebesar 20,14 g/s, 69,78 g/s, dan 71,38 g/s untuk tinggi cerobong sebesar 65 m.

3.4. Analisis Data Meteorologi

Data meteorologi yang dipakai untuk pemodelan ini diambil dari *Nasa Power* yang kemudian diunduh melalui website *power.larc.nasa.gov* dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) melalui website https://dataonline.bmkg.go.id/.

3.4.1. Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan harian maksimum selama 1 tahun, yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam Kotabaru. Berdasarkan pada **Tabel 3.14** dan **Tabel 3.15** perkiraan meteorologi yang diambil dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam Kotabaru, periode musim hujan pada tahun bulan Desember – Mei, untuk kala musim kemarau pada tahun bulan Juni - November.

Tabel 3.14 Curah Hujan (mm) rata-rata per-bulan dalam semester 1

Bulan	jannuari	februari	maret	april	mei	juni	Rata-rata
Curah Hujan (mm)	237,9	223,0	207,0	169,6	171,6	161,9	195,2

(Sumber : BMKG Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam Kotabaru)

Tabel 4.16 Curah Hujan (mm) rata-rata per-bulan dalam semester 2

Bulan	juli	agustus	september	oktober	November	desember	rata-rata

Curah Hujan (mm)	130,0	98,5	94,5	102,1	146,9	208,4	130,1

(Sumber : BMKG Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam Kotabaru)

3.4.2. Suhu Udara

Berdasarkan data meteorologi di Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam suhu kala bulanan musim hujan (Desember - Mei) didaerah Tarjun, Kotabaru ialah 26,8 ^{o}C sedangkan suhu kala bulanan musim kemarau (Juni-November) ialah 27,0^{o}C.

Tabel 4.17 suhu (^{o}C) udara rata-rata per-bulan dalam semester 1

Suhu (*Celcius*)	jannuari	februari	maret	april	mei	juni	rata-rata
Tinggi	30.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30	30.7
Suhu	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
Rendah	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0

(Sumber : BMKG Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam Kotabaru)

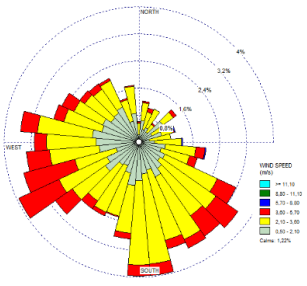
Tabel 4.18 suhu (^{o}C) udara rata-rata per-bulan dalam semester 2

Suhu (*Celcius*)	juli	agustus	september	oktober	november	desember	rata-rata
Tinggi	30.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	30.8
Suhu	26.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.8
Rendah	24.0	24.0	25.0	25.0	25.0	25.0	24.7

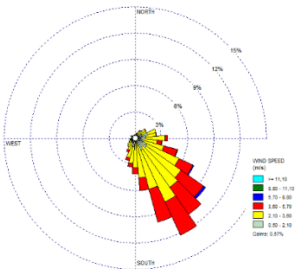
(Sumber : BMKG Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam Kotabaru)

3.4.3. Arah dan Kecepatan Angin

Kecepatan angin kala bulan di Tarjun, Kotabaru saat musim hujan ialah 2,1 m/s, untuk saat musim kemarau kecepatan angin ialah 2,5 m/s. Agar dapat mengetahui pola arah angin tersebut maka diperlukan data arah angin dianalisis dan diolah mawar angin (*windrose*), berikut hasil *windrose* kala musim hujan dan musim kemarau.



Gambar 3.2 *Windrose* musim hujan



Gambar 3.3 *Windrose* musim kemarau

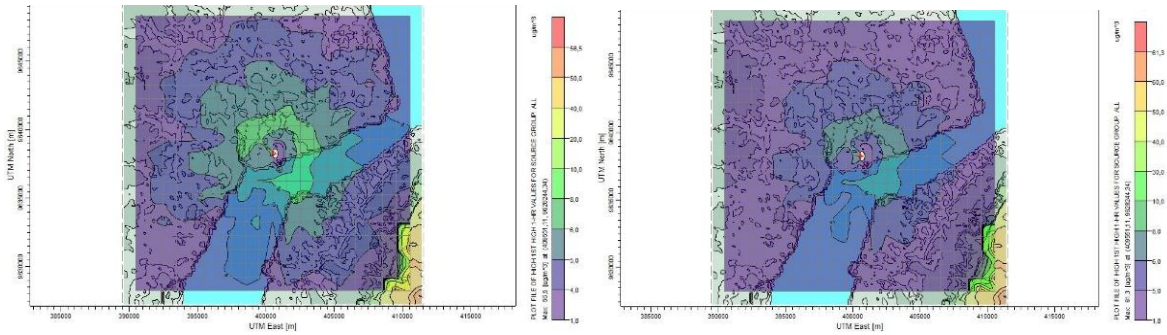
Sesuai dari hasil *windrose* pada daerah Tarjun, Kotabaru dapat dilihat pola arah angin kala musim kemarau dan musim hujan. **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3** diatas menunjukkan peta arah dan kecepatan angin (*windrose*) di lokasi PT. X. Model gambar *windrose* bisa dinyatakan arah angin dominan selama 1 tahun untuk musim hujan (Desember - Mei) berhembus ke arah selatan dengan kecepatan angin maksimumnya sebesar 2,00 – 5,70 m/s

sebesar 7,9 %. Frekuensi terjadinya *calm wind* atau angin dengan kecepatan dibawah 1,0 m/s sebesar 1,87 %, sedangkan musim kemarau (Juni - November) berhembus ke arah barat dengan kecepatan angin maksimumnya sebesar 2,10 – 5,70 m/s sebesar 1,22 %. Frekuensi terjadinya *calm wind* atau angin dengan kecepatan dibawah 1,0 m/s sebesar 0,57 %.

3.5. Hasil Pemodelan Sebaran Emisi

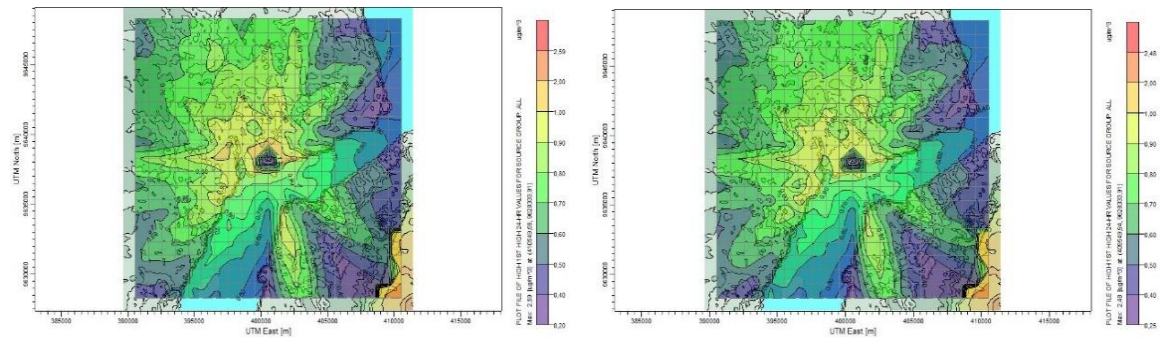
Dalam pemodelan sebaran emisi Partikulat, SO_2 dan NO_2 dilakukan dari sumber emisi yaitu cerobong *Raw Mill/Kiln* di Pt.Indocement Plant 12 Tarjun, kondisi topografi daerah penelitian relatif datar. Jenis hasil pemodelan sebaran emisi ini termasuk bentuk peta *isopleth* konsentrasi di atas permukaan tanah. Hasil pemodelan sebaran emisi Partikulat, SO_2 dan NO_2 disajikan sebagai berikut.

3.5.1. Pemodelan Sebaran Emisi Partikulat



Gambar 3.4 Sebaran emisi partikulat selama 24 jam pada musim hujan untuk tinggi cerobong 72 m dan 65 m

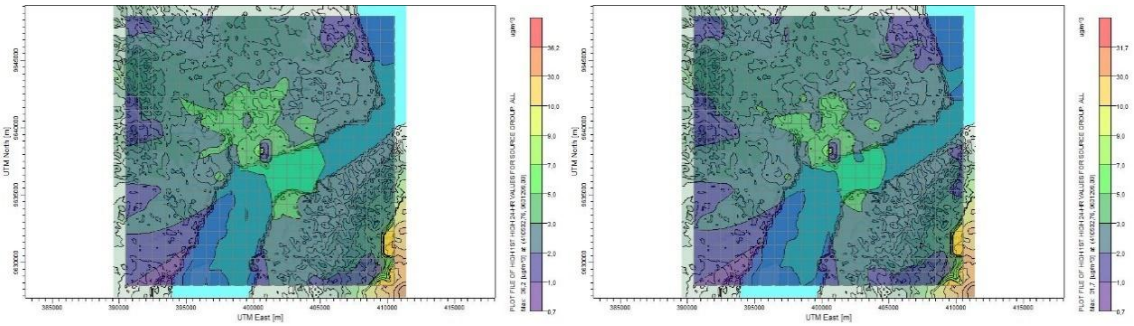
Kala untuk musim hujan bahwa polutan partikulat di udara ambien saat titik penerima pada ketinggian 1,5 meter dari muka tanah memiliki nilai lebih besar dengan arah angin bergerak menuju ke selatan, barat daya sampai tenggara. Berdasarkan pada **Gambar 3.4** sebaran emisi partikulat untuk tinggi cerobong 72 meter dan 65 meter dari kodisi dilapangan yang bersumber dari titik cerobong selama 24 jam menghasilkan konsentrasi partikulat berturut-turut tertinggi pada titik koordinat (410556,07 m; 9631251,66 m), dengan konsentrasi 8,323 $\mu g/m^3$ untuk tinggi cerobong 72 meter dan pada titik koordinat (410556,07 m; 9631251,66 m), dengan konsentrasi 6,942 $\mu g/m^3$ untuk ketinggian cerobong 65 meter.



Gambar 3.5 Sebaran emisi partikulat selama 24 jam pada musim kemarau untuk tinggi cerobong 72 m dan 65 m

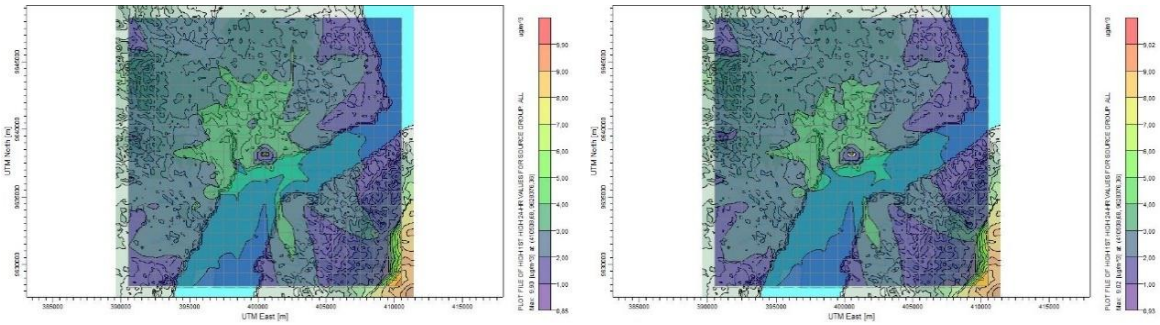
Pada musim kemarau angin bergerak ke arah tenggara. Berdasarkan pada **Gambar 3.5** Sebaran partikulat untuk tinggi cerobong 72 meter dan 65 meter dari kodisi dilapangan yang bersumber dari titik cerobong menghasilkan konsentrasi debu berturut-turtut tertinggi pada titik koordinat (410549,59 m; 9628333,91 m) dengan konsentrasi 2,589 μg/m^3 untuk tinggi cerobong 72 meter dan pada titik koordinat (409549,94 m; 9628333,91 m), dengan konsentrasi 2,477 μg/m^3 untuk tinggi cerobong 65 meter.

3.5.2. Pemodelan Sebaran Emisi SO_2



Gambar 3.6 Sebaran emisi SO_2 selama 24 jam pada musim hujan untuk tinggi cerobong 72 m dan 65 m.

Kala untuk musim hujan bahwa polutan SO_2 di udara ambien saat titik penerima pada ketinggian 1,5 meter dari muka tanah memiliki nilai lebih besar dengan arah angin bergerak menuju ke selatan, barat daya sampai tenggara. Berdasarkan pada **Gambar 3.6** sebaran emisi SO_2 untuk tinggi cerobong 72 meter dan 65 meter dari kodisi dilapangan yang bersumber dari titik cerobong selama 24 jam menghasilkan konsentrasi partikulat berturut-turut tertinggi pada titik koordinat (410502,76 m; 9631299,08 m), dengan konsentrasi 36,171 μg/m^3 untuk tinggi cerobong 72 meter dan pada titik koordinat (410502,76 m; 9631299,08 m), dengan konsentrasi 31,672 μg/m^3. untuk ketinggian cerobong 65 meter.

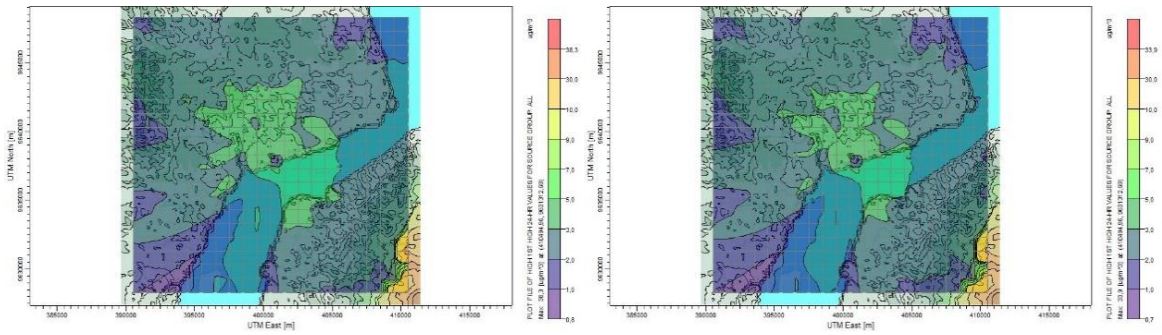


Gambar 3.7 Sebaran emisi SO_2 selama 24 jam pada musim kemarau untuk tinggi cerobong 72 m dan 65 m

Pada musim kemarau angin bergerak ke arah tenggara. Berdasarkan pada **Gambar 3.7** Sebaran SO_2 untuk tinggi cerobong 72 meter dan 65 meter dari kodisi dilapangan yang bersumber dari titik cerobong menghasilkan konsentrasi debu berturut-turtut tertinggi pada titik koordinat koordinat (410502,76 m; 9631299,08 m), dengan konsentrasi 36,171 μg/m^3

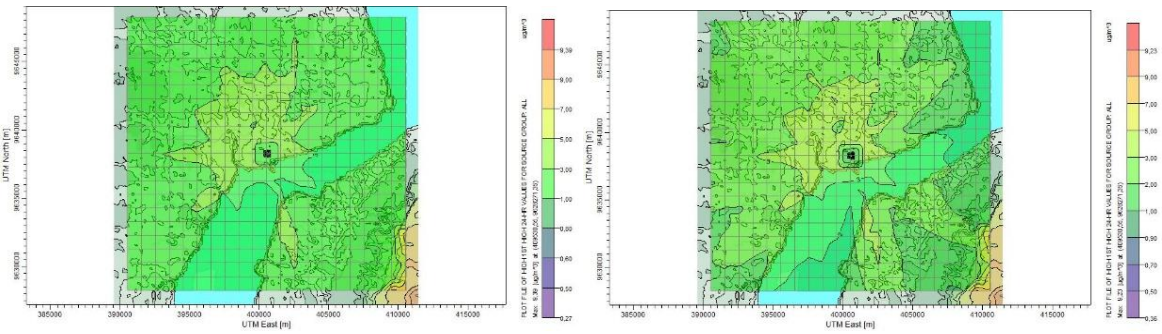
untuk tinggi cerobong 72 meter dan pada titik koordinat (410502,76 m; 9631299,08 m), dengan konsentrasi 31,672 μg/m^3 untuk tinggi cerobong 65 meter.

3.5.3. Pemodelan Sebaran Emisi NO_2



Gambar 3.8 Sebaran emisi NO_2 selama 24 jam pada musim hujan untuk tinggi cerobong 72 m dan 65 m.

Kala untuk musim hujan bahwa polutan NO_2 di udara ambien saat titik penerima pada ketinggian 1,5 meter dari muka tanah memiliki nilai lebih besar dengan arah angin bergerak menuju ke selatan, barat daya sampai tenggara. Berdasarkan pada **Gambar 3.8** sebaran emisi NO_2 untuk tinggi cerobong 72 meter dan 65 meter dari kodisi dilapangan yang bersumber dari titik cerobong selama 24 jam menghasilkan konsentrasi partikulat berturut-turut tertinggi pada titik koordinat (410494,96 m; 9631312,68 m), dengan konsentrasi 38,307 μg/m^3 untuk tinggi cerobong 72 meter dan pada titik koordinat (410494,96 m; 9631312,68 m), dengan konsentrasi 33,870 μg/m^3 untuk ketinggian cerobong 65 meter.



Gambar 4.22 Sebaran emisi NO_2 selama 24 jam pada musim kemarau untuk tinggi cerobong 72 m dan 65 m

Pada musim kemarau angin bergerak ke arah tenggara. Berdasarkan pada **Gambar 3.5** Sebaran NO_2 untuk tinggi cerobong 72 meter dan 65 meter dari kodisi dilapangan yang bersumber dari titik cerobong menghasilkan konsentrasi debu berturut-turtut tertinggi pada titik koordinat koordinat (410494,96 m; 9628271,35 m), dengan konsentrasi 9,391 μg/m^3 untuk tinggi cerobong 72 meter dan pada titik koordinat (409530,55 m; 9628271,35 m), dengan konsentrasi 9,231 μg/m^3 untuk tinggi cerobong 65 meter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut; Jumlah keseluruhan massa masuk ke dalam Suspension Preheater adalah 748.682,78 kg/jam. dengan total massa output 157.506,6898 kg/jam dan total massa kehilangan 591.176,09 kg/jam; Berdasarkan perhitungan untuk merencanakan volume dan dimensi cerobong dengan memperhatikan keadaan sekitar titik sumber untuk tinggi cerobong adalah 72 meter dan 65 meter. Dengan kecepatan gas buang berturut-turut adalah 20 m/s dan 21 m/s; Berdasarkan pola sebaran dengan kurun waktu 24 jam diketahui bahwa konsentrasi TSP, SO_2, dan NO_2 di udara ambien pada titik penerima dengan ketinggian 1,5 meter dari muka tanah rata-rata memiliki konsentrasi maksimum TSP, SO_2, dan NO_2 berturut-turut adalah 8,323 $\mu g/m^3$, 36,171 $\mu g/m^3$, dan 38,307 $\mu g/m^3$. Sedangkan perbedaan antara yang disimulasikan dan dalam keadaan dilapangan, lebih baik dengan tinggi cerobong 72 meter agar memaksimalkan sebaran emisi dibandingkan tinggi cerobong 65 meter.

4.2. Saran

Adapun saran yang didapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut; Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan faktor-faktor variabel pada neraca massa seperti, menggunakan gas alternatif, jam kerja mesin, efisiensi gas buang pada cerobong dan lainnya; Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor koreksi dari sumber emisi lain seperti dari pabrik-pabrik disekitar atau cerobong pabrik yang ada sekitar wilayah dari titik sumber.; Dilakukan penelitian lebih lanjut terkait visualisasi model dalam 3 dimensi (x,y,z).

DAFTAR PUSTAKA

Ancilla, L. (2019). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Alternatif Terhadap Emisi Voc *(Volatile Organic Compounds)* Dan Persebarannya Di Industri Semen (Pt.X). *Perpustakaan Itb*.

Assegaf, Alimuddin Hamzah., 2018, *Pemodelan Dispersi Gas dari Cerobong PLTU dengan Model Pasquil-Gaussian,* Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Vol. 8 No. 3 (Desember 2018), pp 414-419, PUSLITBANG-LH dan Departemen Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar.

Damayanti, Rissa, Puji Santoso, dan Hana Subhiyah., 2019, *Analisis Perhitungan Ketinggian Cerobong pada Aeet 10 MeV dengan Kondisi tanpa Sistem Ventilasi*, PRIMA, Volume 16 Nomor 1 (Juni 2019), pp 11-16, Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN, Tenggerang Selatan.

EPA, 2005. *Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Prefered General Propose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revision. Fed. Reg*., 70(215):68218-68261.

Kamal N.M. 2015. Studi Tingkat Kualitas Udara pada Kawasan Mall Pankukang di Makassar. Skripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar.

Lunaria Jenned, M., Dewi, K., dan kunci, K.,. (2017). Analisis Dispersi Polutan Dari Multiple Sources Operasional Pltu Batubara X Sebagai Media Perhitungan Valuasi Ekonomi. In *Jurnal Teknik Lingkungan.* Dispersi, P., & Ekonomi, V (Vol. 23, Issue 2).

Mokhtar, M., Hassim, M. H., & Taib, R. M. (2014). *Health risk assessment of emissions from a coal-fired power plant using AERMOD modelling*. *Process Safety and Environmental Protection, 92*(5), 476-485.

Nevers, Noel de., 2000, *Air Pollution Control Engineering Second Edition*, McGraw-Hill, Boston.

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Sarwono, E., Rizky A. S., & Budi N. W. (2021). Analisis Dispersi Emisi Sulfur Dioksida (SO_2) Dan Nitrogen Dioksida (NO_2) Dari Cerobong Pltgu Tanjung Batu Kutai Kartanegara Menggunakan Persamaan *Gaussian.* Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman. Vol. 5, No. 2.

Suryani, S., Gunawan dan Upe, A. 2010. "Model Sebaran Polutan SO2 pada Cerobong Asap PT Semen Tonasa". Kongges dan Seminar Nasional Badan Koordinasi Pusat Studi Lingkungan Hidup se-Indonesia ke XX, 14 Mei 2010 Pekanbaru. Universitas Hasanudin.

Suvo (2010). *Basic Design Calculations for Flue Gas Stack Design for a Diesel Genset in India*.

Turyanti, A., June, T., Aldrian, E., dan Erliza Noor, 2016. Analisis Pola Dispersi Partikulat Dan Sulfurdioksida Menggunakan Model Wrfchem Di Sekitar Wilayah Industri Tangerang Dan Jakarta Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, P., & Pascasarjana, S (Vol. 23, Issue 2).

Visscher, A. 2014. *Air Dispersion Modelling***.** New Jersey : John Willwy & Sons Inc.