

Uji Model AERMOD Terhadap Sebaran Particulate Matter 10 μm (PM₁₀) di Sekitar Kawasan PT Semen Padang

Dharma Wangsa*, Vera Surtia Bachtiar*, Slamet Raharjo

Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji model AERMOD dalam memprediksi sebaran PM₁₀ di udara ambien kawasan PT Semen Padang. Lokasi penelitian sebanyak 32 titik berdasarkan 8 arah mata angin dengan jarak 0,5 km, 1 km, 1,5 km dan 2 km dari PT Semen Padang. Pengukuran PM₁₀ menggunakan EPAM 5000 *Real Time Particulate Air Monitor* dilanjutkan pemetaan dengan software Surfer 11. Waktu pengukuran dibagi menjadi 4 shift, yaitu shift 1 (00.00 – 05.59 WIB), shift 2 (06.00 – 11.59 WIB), shift 3 (12.00 – 17.59 WIB) dan shift 4 (18.00 – 23.59 WIB). Pengambilan data meteorologi (temperatur udara, tekanan udara, kelembapan, kecepatan angin dan arah angin) menggunakan alat *Meteorological Station PCE-FWS-20* untuk input data pada AERMET, dilanjutkan prediksi sebaran PM₁₀ menggunakan software AERMOD View 8.9.0. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi PM₁₀ dengan EPAM 5000 berkisar antara 21,0 – 79,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan rata-rata 24 jam sebesar 41,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD berkisar antara 3,5 sampai 68,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan rata-rata 24 jam sebesar 10,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jika dibandingkan dengan baku mutu untuk Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, lokasi 11 dengan koordinat S 0°56'52.46" dan E 100°27'41.88" pada jarak 1 km kawasan Barat PT Semen Padang tidak memenuhi baku mutu. Model mendekati ideal atau dikatakan sempurna yaitu lokasi arah Timur dan Timur Laut karena elevasi yang lebih tinggi dari sumber emisi dan merupakan arah angin dominan pada siang hari.

Kata kunci: AERMOD, EPAM, PM₁₀, PT Semen Padang, Udara ambien

ABSTRACT

This study aims to test the AERMOD model in predicting the distribution of PM₁₀ in the ambient air of the PT Semen Padang area. The research locations were 32 points based on eight cardinal directions with a radius of 0.5 km, 1 km, 1.5 km, and 2 km from PT Semen Padang. PM₁₀ measurement using EPAM 5000 Real-Time Particulate Air Monitor followed by mapping with Surfer 11 software. The measurement time is divided into four shifts, namely shift 1 (00.00 – 05.59 WIB), shift 2 (06.00 – 11.59 WIB), shift 3 (12.00 – 17.59 WIB), and shift 4 (18.00 – 23.59 WIB). Meteorological data retrieval (air temperature, air pressure, humidity, wind speed and wind direction) using the Meteorological Station PCE-FWS-20 for data input to AERMET, followed by prediction of PM₁₀ distribution using AERMOD View 8.9.0 software. The results showed that the concentration of PM₁₀ with EPAM 5000 ranged from 21.0 – 79.0 g/m^3 with a 24-hour average of 41.7 g/m^3 . The concentration of PM₁₀ with AERMOD ranged from 3.5 - 68.0 g/m^3 with a 24-hour average of 10.6 g/m^3 . When compared with the quality standard for Government Regulation no. 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management, location 11 with coordinates S 0°56'52.46" and E 100°27'41.88" at a distance of 1 km west of PT Semen Padang does not meet the quality standards. The model is close to ideal or is said to be perfect, namely the location of the East and Northeast directions because of the higher elevation of the emission source and the dominant wind direction during the day.

Keywords: AERMOD, EPAM, PM₁₀, PT Semen Padang, Ambien air

Sitasi: Wangsa, D., Bachtiar, V.S., Raharjo, S. (2022). Uji Model AERMOD Terhadap Sebaran Particulate Matter 10 μm (PM₁₀) di Sekitar Kawasan PT Semen Padang, *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 291-301, doi:10.14710/jil.20.2.291-301

1. Latar Belakang

Berdasarkan data Komite Penghapusan Bensin Bertimbang (KPBB) tahun 2017 menyebutkan bahwa sektor industri menyumbang 22% polusi udara di kota. Salah satu industri yang banyak menghasilkan zat pencemar udara adalah industri semen. Saat ini produksi semen telah meningkat karena urbanisasi yang cepat. Produksi semen dikaitkan dengan pelepasan polutan udara berbahaya polutan dari

kegiatan manufaktur dan utilitas pembangkit listrik (Hua dkk, 2016; Zou dkk, 2018).

Salah satu polutan udara yang dihasilkan oleh industri semen adalah *Particulate Matter 10* (PM₁₀). PM₁₀ merupakan partikulat berukuran kecil dari 10 μm . Paparan PM₁₀ merupakan indikator yang paling cocok untuk pengukuran pencemaran partikulat yang dikaitkan dengan efek terhadap saluran pernapasan karena PM₁₀ merupakan risiko kesehatan yang

* Corresponding author; e-mail: dharmawangsa.wd@gmail.com dan verasurtia@eng.unand.ac.id

terbesar diantara berbagai ukuran partikulat karena terhirup masuk melalui saluran pernapasan sampai dengan saluran pernapasan bagian bawah dan dideposit di paru-paru (Lindawaty, 2010).

Di Kota Padang Sumatera Barat terdapat salah satu perusahaan industri semen yaitu PT Semen Padang. PT Semen Padang berlokasi di Indarung, Kota Padang, Sumatera Barat. Perusahaan ini berdiri sejak tahun 1910 yang memiliki luas 1.214 Ha. Pertama kali berproduksi tahun 1913 dengan kapasitas 22.900 ton/tahun. Tahun 1995 bersama dengan Semen Tonasa bergabung dibawah Semen Gresik Group yang kemudian pada tahun 2012 lahirnya *holding company* PT Semen Indonesia Group (Persero) Tbk. Semen Indonesia menjadi BUMN pertama dengan status *multinational corporation*. Kapasitas produksi PT Semen Padang pada tahun 2018 sebesar 8.900.000 ton/tahun (PT Semen Padang, 2018). Pabrik semen merupakan salah satu industri yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan dampak negatif yaitu pencemaran udara oleh debu. Debu yang dihasilkan industri semen dapat berpengaruh terhadap lingkungan dan manusia. Debu (*dust*) merupakan salah satu jenis aerosol padat yang terbentuk, karena proses pemisahan suatu bahan secara mekanik, seperti proses penghancuran, penggilingan dan peledakkan. Proses ini dapat terjadi, karena gesekan bahan dengan angin yang kencang atau pergeseran dengan bahan lain (Wardhana, 2001). Debu dianggap sebagai partikel bahan padat yang terbagi secara halus dengan ukuran berkisar dari 0,1 μ m hingga 100 μ m (Hinds, 1982; Colbeck, 1998; Samuel, 1973 dan Saeni, 1989). Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan oleh pencemaran udara yaitu masuknya zat pencemar berbentuk gas dan partikel kecil yang dinamakan aerosol ke dalam udara (Soedomo, 1999). Aerosol didefinisikan sebagai partikel cair maupun padat yang tersuspensi di dalam gas (Hinds, 1982; Colbeck, 1998). Ukuran partikel aerosol antara 0,001 μ m dan 100 μ m.

Particulate matter 10 μ m atau lebih dikenal sebagai PM₁₀ merupakan partikulat yang berukuran kecil dari 10 μ m. Partikel-partikel yang berdiameter kurang dari 2,5 μ m pada umumnya dianggap halus dan partikel yang berdiameter lebih besar dari 2,5 μ m dianggap kasar. PM₁₀ merupakan partikulat padat atau cair yang melayang di udara dengan diameter aerodinamik kurang dari 10 μ m (Koren, 2003). Penelitian terkait partikulat di udara ambien sekitar kawasan PT Semen Padang telah dilakukan Kurniawan (2014) dan Wangsa (2015) tentang pemetaan konsentrasi PM₁₀ dan konsentrasi logam Al, Ca, Fe, Na dan Si dalam PM₁₀ di udara ambien kawasan timur dan barat PT Semen Padang dan sekitarnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk kawasan timur PT Semen Padang, konsentrasi PM₁₀ pada malam hari lebih rendah daripada siang hari. Konsentrasi PM₁₀ pada malam hari berkisar 22,48 - 87,43 μ g/Nm³ dan konsentrasi PM₁₀ pada siang hari berkisar 32,64 -

117,81 μ g/Nm³. Sedangkan untuk kawasan barat PT Semen Padang, konsentrasi PM₁₀ pada malam hari lebih tinggi daripada siang hari. Konsentrasi PM₁₀ pada malam hari berkisar 42,77 - 143,41 μ g/Nm³ dan konsentrasi PM₁₀ pada siang hari berkisar 50,75 - 118,13 μ g/Nm³. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ di beberapa lokasi tidak memenuhi baku mutu udara ambien nasional yaitu Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Selain itu, dengan adanya penambahan pabrik Indarung VI yang beroperasi mulai 10 Januari 2017 diduga menghasilkan konsentrasi PM₁₀ yang berbeda dengan penelitian sebelumnya.

Untuk menindaklanjuti hal tersebut, perlu dilakukan prediksi sebaran emisi PT Semen Padang karena PM₁₀ sampai saat ini dihasilkan secara berkelanjutan. Salah satu aspek terpenting dalam menganalisis kualitas udara adalah analisis terhadap prediksi sebaran polutan udara. Analisis ini akan membentuk hubungan antara emisi yang dikeluarkan terhadap distribusi konsentrasi polutan dan wilayah yang terkena dampak sebaran polutan. Proses terjadinya sebaran polutan tergolong kompleks, yang mana sebaran polutan tersebut dipengaruhi oleh kontur permukaan, kondisi meteorologi dan keadaan sumber pencemar.

Salah satu pemodelan sebaran udara yang direkomendasikan oleh *United States Environmental Protection Agency* (EPA) adalah AERMOD. AERMOD yaitu merupakan model sebaran spasial kualitas udara yang ditujukan untuk pemenuhan terhadap peraturan dan mampu memprediksi penyebaran kualitas udara hingga 10 sumber yang berbeda-beda (sumber titik, luas atau volume), selain itu penyebaran kualitas udara dari sumber sumber bergerak juga dapat diprediksi oleh perangkat lunak ini (Zou dkk, 2018). AERMOD menggunakan teori *Planetary Boundary Layer* atau PBL untuk menghitung sebaran yang dipengaruhi oleh pemanasan, permukaan dan gesekan (Monin dan Obukhov, 2008). Model tersebut membutuhkan beberapa informasi yang berkaitan dengan permukaan, seperti lamanya kekasaran, kelembapan dan reflektivitas. Model AERMOD terdiri dari AERMOD sebagai model utama, AERMET sebagai pemroses meteorologi, dan AERMAP sebagai pemroses geomorfologi (Cimorelli, 2004). Model AERMET digunakan untuk menyediakan data meteorologi, seperti kecepatan dan arah angin, suhu, tutupan awan dan data yang terkait dengan permukaan, seperti Albedo, kekasaran permukaan dan rasio Bowen. Semua data ini diproses oleh AERMET untuk menghitung parameter permukaan PBL (*Planetary Boundary Level*) antara lain kecepatan gesekan, panjang, skala kecepatan konvektif, skala temperatur, tinggi pencampuran dan panas permukaan. Selain itu, parameter PBL udara atas juga dihitung seperti profil vertikal kecepatan angin, lateral dan profil vertikal

fluktuasi turbulen, gradien, dan suhu potensial. Selanjutnya, AERMAP akan menyediakan data topografi grid data dipilih dari data Digital Elevation Model (DEM) dan posisi reseptor dihitung dari *mean sea level* atau MSL (Cimorelli, 2004 dan Nugroho, 2011). Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian mengenai uji model AERMOD terhadap sebaran PM₁₀ di udara ambien sekitar kawasan PT Semen Padang. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis sebaran PM₁₀ di udara ambien kawasan industri PT Semen Padang menggunakan software AERMOD.

2. Metodologi

Data sekunder yang diperlukan adalah gambaran umum wilayah studi yang diperoleh dari instansi terkait. Data sekunder terdiri dari data emisi dan koordinat masing-masing cerobong PT Semen Padang yang diperoleh dari PT Semen Padang.

Penelitian ini dilakukan di 32 lokasi di sekitar PT Semen Padang berdasarkan arah mata angin yaitu Utara, Selatan, Barat, Timur, Barat Laut, Barat Daya, Tenggara dan Timur Laut. Tiap arah mata angin dilakukan pengukuran pada masing-masing jarak 0,5 km dari sumber (PT Semen Padang), 1 km, 1,5 km, dan 2 km. Perbedaan jarak ini bertujuan untuk melihat perbedaan konsentrasi PM₁₀ pada masing-masing lokasi pengukuran. Koordinat lokasi pengukuran disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Untuk lebih jelasnya mengenai foto udara masing-masing cerobong PT Semen Padang dan lokasi pengukuran, dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengukuran konsentrasi PM₁₀ dilakukan dengan alat EPAM 5000 *Real Time Particulate Air Monitor*. Prinsip alat ini adalah mengukur konsentrasi partikel

debu di udara ambien secara *direct/langsung*. Alat ini menampilkan secara langsung hasil pengukuran secara *realtime* ukuran partikulat yang dapat diukur mulai dari *Total Suspended Particulate* (TSP), PM₁₀, PM_{2,5} dan PM₁. Pengukuran konsentrasi PM₁₀ dilakukan selama 30 menit dan dicatat setiap 5 menit dalam 4 shift pengukuran selama 24 jam. Alat EPAM 5000 *Real Time Particulate Air Monitor* telah dilakukan uji akurasi dengan alat BAM 1020 yang dioperasikan di Stasiun Pemantauan Atmosfer Global Bukit Koto Tabang didapatkan kesimpulan bahwa tidak ada perbedaan hasil pengukuran antara EPAM 5000 *Real Time Particulate Air Monitor* dengan BAM 1020.

Pengukuran kondisi meteorologi dilakukan setiap dilakukan pengukuran PM₁₀ pada masing-masing lokasi dengan menggunakan alat *Meteorological Station PCE-FWS-20*. Alat ini dapat mengukur dan merekam data kondisi meteorologi baik *indoor* maupun *outdoor* yang meliputi data temperatur udara, kelembapan udara, tekanan udara, kecepatan angin, arah angin dan curah hujan secara otomatis. Alat tersebut dapat dihubungkan dengan PC menggunakan kabel USB sehingga data kondisi meteorologi dapat disimpan langsung ke dalam PC. Pengukuran dilakukan setiap 10 menit selama 24 jam.

Data konsentrasi PM₁₀ di sekitar PT Semen Padang yang didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan. Selanjutnya dilakukan pemetaan sebaran konsentrasi PM₁₀ dengan *software* Surfer 11. Perbandingan dilakukan antara hasil prediksi sebaran emisi dengan *software* AERMOD dan data hasil pengukuran konsentrasi PM₁₀ dengan EPAM 5000 di sekitar PT Semen Padang. Validasi digunakan untuk menganalisis sistem kerja dan melihat tingkat akurasi dari perangkat lunak AERMOD.



Gambar 1. Lokasi Pengukuran
Sumber: Google Earth, 2020

Tabel 1. Konsentrasi PM₁₀ dengan EPAM 5000 *Real Time Particulate Air Monitor*

No.	Jarak Dari Sumber	Lokasi		Konsentrasi PM ₁₀ (µg/m ³)				Keterangan	
		S	E	00.00-05.59	06.00-11.59	12.00-17.59	18.00-23.59		24 Jam
1	0,5 km	0°56'26.63"	100°28'10.40"	81	40	32	95	62	
2		0°56'32.06"	100°27'53.57"	38	20	24	42	31	
3		0°56'52"	100°27'48"	54	22	53	70	50	
4		0°57'12"	100°27'49"	65	33	37	50	46	
5		0°57'19"	100°28'16"	26	12	41	42	30	
6		0°57'12"	100°28'31"	16	29	75	62	45	
7		0°56'52.43"	100°28'24.97"	21	10	30	21	21	
8		0°56'40.73"	100°28'24.97"	30	33	28	21	23	
9	1 km	0°56'22"	100°28'14"	30	35	35	28	32	
10		0°56'29.31"	100°27'50.87"	56	22	53	31	40	
11		0°56'52.46"	100°27'41.88"	89	32	26	169	79	Melebihi Baku Mutu
12		0°57'17"	100°27'48"	84	32	27	62	50	
13		0°57'21"	100°28'13"	84	26	14	84	49	
14		0°57'16.23"	100°28'36.37"	75	31	31	76	53	
15		0°57'4"	100°28'50"	72	44	19	75	52	
16		0°56'22"	100°28'50"	48	31	10	28	29	
17	1,5 km	0°56'12"	100°28'8"	94	21	25	58	49	
18		0°56'18.33"	100°27'39.63"	29	14	22	39	22	
19		0°56'42.48"	100°27'25.39"	64	24	26	62	44	
20		0°57'26.48"	100°27'39.47"	58	29	29	52	42	
21		0°57'36.7"	100°28'13.2"	56	32	28	51	42	
22		0°57'28.28"	100°28'46.83"	52	48	49	51	50	
23		0°57'1"	100°29'2"	69	68	67	70	68	
24		0°56'17"	100°28'47"	41	22	23	39	31	
25	2 km	0°56'23.23"	100°27'58.02"	29	23	35	37	31	
26		0°56'6.79"	100°27'28.11"	38	20	37	69	34	
27		0°56'53.19"	100°27'11"	79	24	22	69	48	
28		0°57'29.1"	100°27'29.2"	42	37	39	41	40	
29		0°57'51.4"	100°28'36.0"	37	23	25	38	31	
30		0°57'34.7"	100°29'1.7"	37	31	37	36	35	
31		0°56'59"	100°29'20"	40	39	41	44	41	
32		0°56'8.70"	100°28'55.03"	56	21	31	27	34	
Mean							41,69		
Standar Deviasi							13,08		
Rentang							21 – 79		

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Konsentrasi PM₁₀ Sekitar PT Semen Padang

3.1.1. Konsentrasi PM₁₀ dengan EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor

Data konsentrasi PM₁₀ menggunakan alat EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor dilakukan di 32 titik lokasi dalam waktu 4 hari. 1 hari dilakukan pada 8 lokasi dan tiap lokasi dibagi menjadi 4 shift yaitu shift 1 (00.00-05.59 WIB), shift 2 (06.00-11.59 WIB), shift 3 (12.00-17.59 WIB) dan shift 4 (18.00-23.59 WIB). Konsentrasi PM₁₀ masing-masing lokasi yang didapatkan merupakan data pengukuran setiap selama 30 menit dan dicatat setiap 5 menit kemudian dirata-ratakan sesuai dengan kebutuhan input data software surfer 11. **Tabel 1** berikut merupakan data konsentrasi PM₁₀ sekitar PT Semen Padang menggunakan alat EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor.

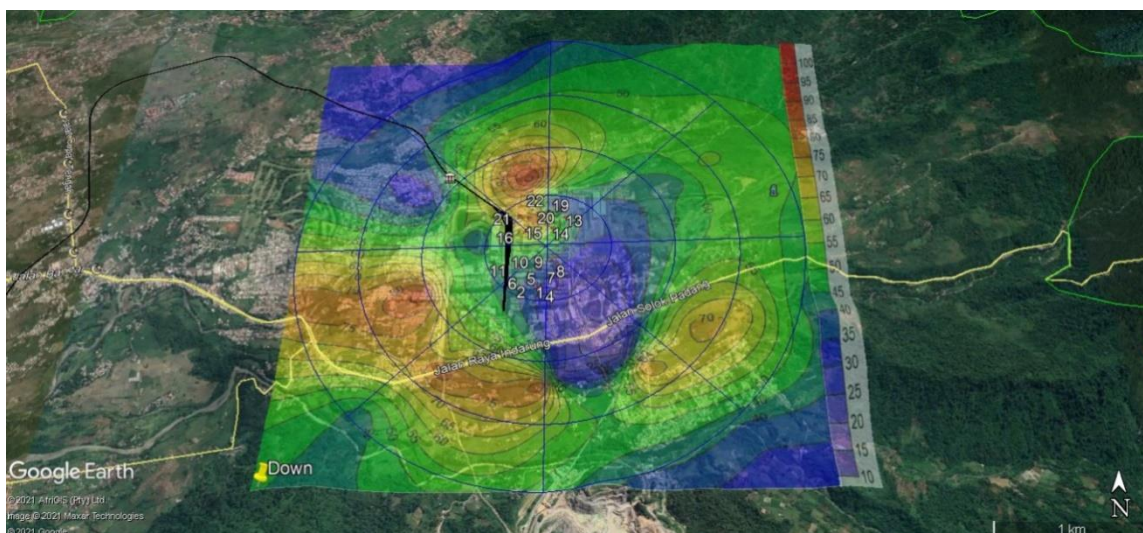
Berdasarkan **Tabel 1**, konsentrasi PM₁₀ rata-rata 24 jam sebesar 41,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan rentang 21,0 – 79,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi PM₁₀ tersebut dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada lampiran VII yaitu 75,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk pengukuran 24 jam, maka di lokasi 11 dengan koordinat S 0°56'52.46" dan E 100°27'41.88" tidak memenuhi baku mutu dengan nilai konsentrasi PM₁₀ sebesar 79,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tingginya konsentrasi PM₁₀ di lokasi 11 karena berada pada arah angin dominan malam hari berdasarkan **Gambar 5** dengan jarak 1 km arah Barat PT Semen Padang, serta

di lokasi ini juga terdapat sumber pencemar lain dengan jarak ± 20 m dari lokasi pengukuran yaitu jalur transportasi bahan dan material produk semen yang juga diperkirakan akan menambah konsentrasi PM₁₀ di udara ambien.

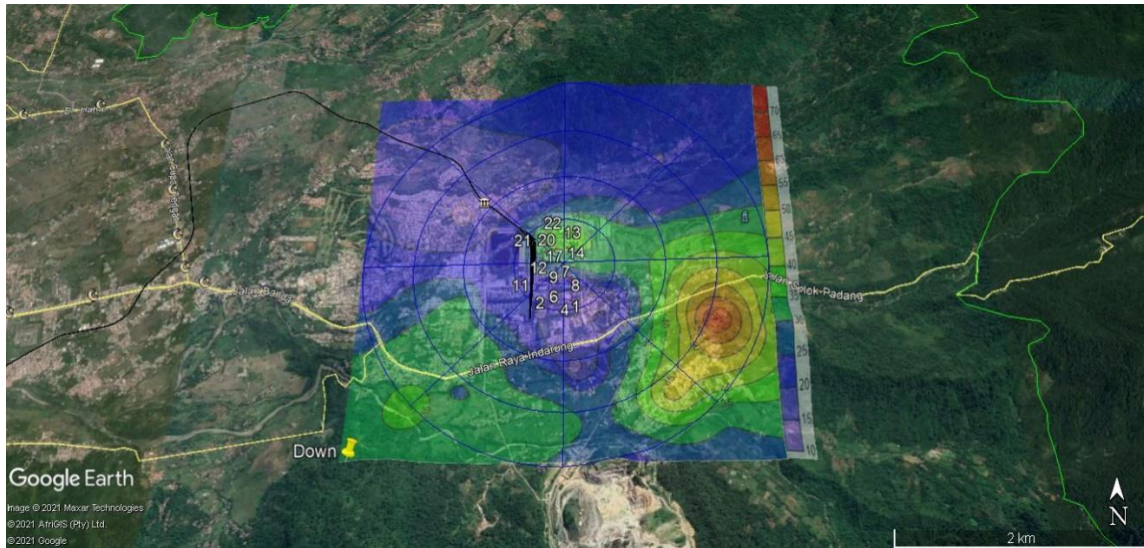
Sedangkan lokasi PM₁₀ terendah berdasarkan hasil pengukuran rata-rata 24 jam berada pada koordinat S 0°56'52.43" dan E 100°28'24.97" pada jarak $\pm 0,5$ km arah Timur PT Semen Padang yaitu sebesar 21,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini diperkirakan terjadi karena adanya pergerakan angin menyebabkan emisi yang dikeluarkan cerobong PT Semen Padang menyebar lebih jauh dari sumber cerobong sehingga di sekitar lokasi cerobong PT Semen Padang lebih rendah konsentrasi PM₁₀ dibandingkan dengan jarak 1 km sampai 2 km dari PT Semen Padang.

Gambar 2 sampai **Gambar 6** berikut merupakan pemetaan konsentrasi PM₁₀ di udara ambien sekitar PT Semen Padang sebagai hasil olahan software Surfer 11.

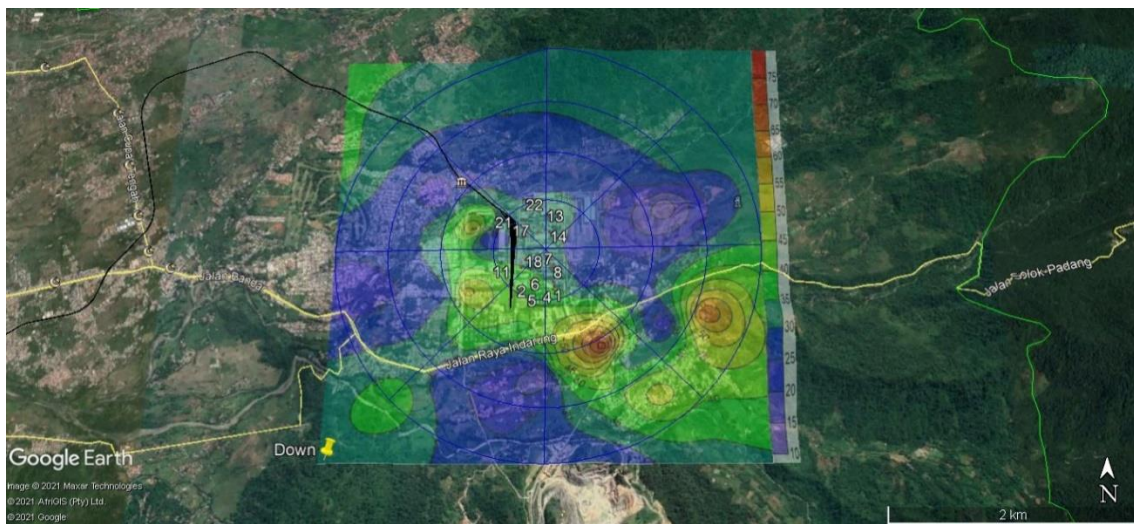
Berdasarkan **Tabel 1** **Gambar 2** terlihat bahwa konsentrasi PM₁₀ dengan EPAM 5000 pada jam 00.00 – 05.59 WIB berkisar antara 16,0 sampai 94,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rata-rata 52,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi didapatkan pada lokasi 17 dengan radius 1 km arah Utara PT Semen Padang. Hasil pemetaan dengan Surfer 11 menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ cenderung tinggi pada daerah Utara, Barat dan Selatan. Hal ini diperkirakan akibat pergerakan arah angin pada saat pengukuran dari arah Timur menuju arah Barat PT Semen Padang.



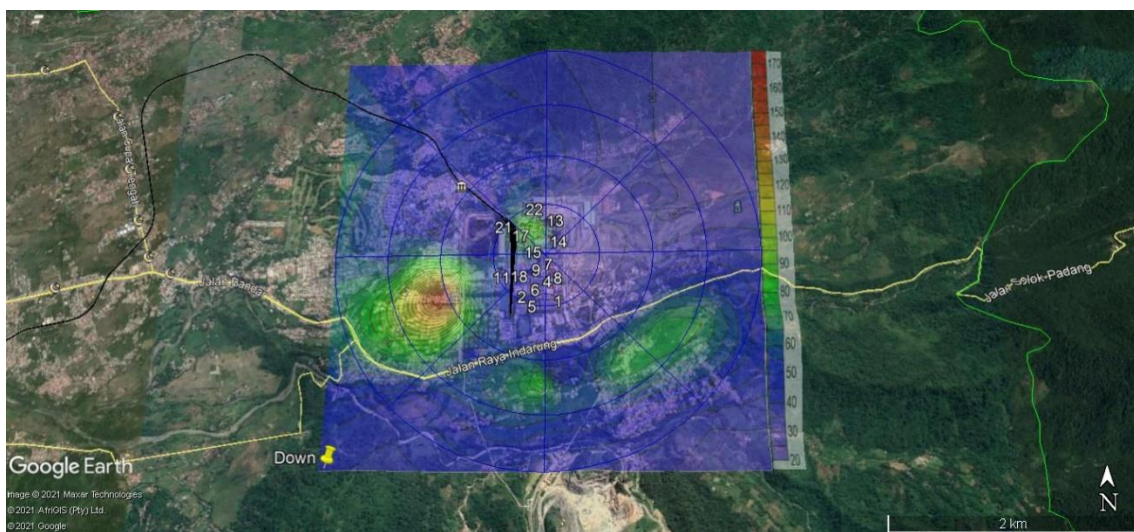
Gambar 2. Sebaran Konsentrasi PM₁₀ Jam 00.00-05.59 WIB



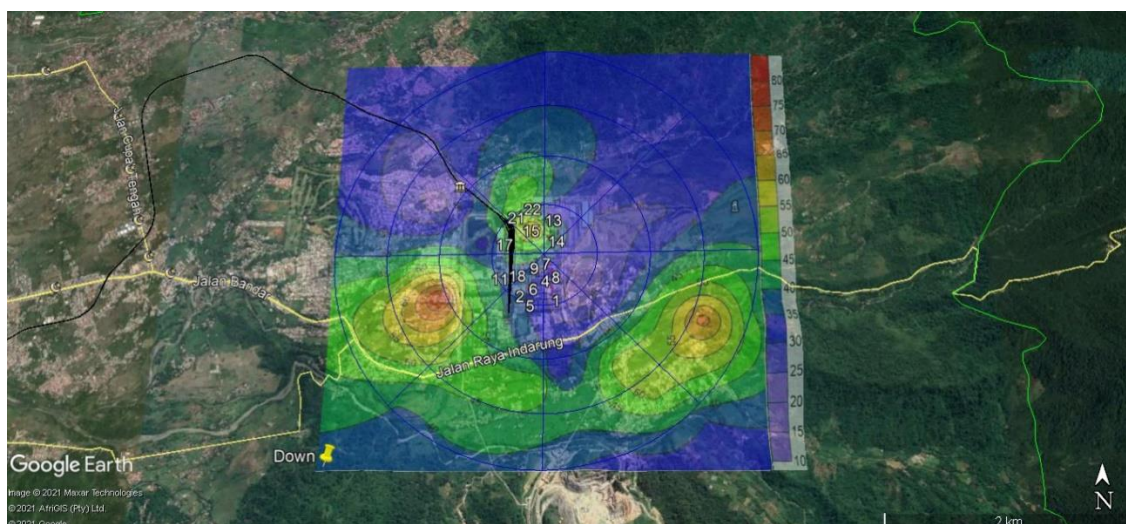
Gambar 3. Sebaran Konsentrasi PM₁₀ Jam 06.00-11.59 WIB



Gambar 4. Sebaran Konsentrasi PM₁₀ Jam 12.00-17.59 WIB



Gambar 5. Sebaran Konsentrasi PM₁₀ Jam 18.00-23.59 WIB



Gambar 6. Sebaran Konsentrasi PM₁₀ Jam 00.00-05.59 WIB

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3 terlihat bahwa data konsentrasi PM₁₀ pada jam 06.00 – 11.59 WIB berkisar antara 10,0 sampai 68,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rata-rata 29,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi didapatkan pada lokasi 23 dengan radius 1,5 km arah Timur tenggara PT Semen Padang. Hal ini diperkirakan akibat pergerakan arah angin dominan pada saat pengukuran dari arah Barat menuju arah Timur Tenggara PT Semen Padang.

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 4 terlihat bahwa konsentrasi PM₁₀ pada jam 12.00 – 17.59 WIB berkisar antara 10,0 sampai 75,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rata-rata 33,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi didapatkan pada lokasi 6 dengan radius 0,5 km arah tenggara PT Semen Padang. Hal ini diperkirakan akibat pergerakan arah angin dominan pada saat pengukuran dari arah Barat Laut menuju arah tenggara PT Semen Padang.

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 5 terlihat bahwa konsentrasi PM₁₀ pada jam 18.00 – 23.59 WIB berkisar antara 21,0 sampai 169,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rata-rata 54,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi berada pada lokasi 11 dengan radius 1 km arah Barat PT Semen Padang. Hal ini diperkirakan akibat pergerakan arah angin dominan pada saat pengukuran dari arah Timur menuju arah Barat PT Semen Padang.

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 6, terlihat bahwa konsentrasi PM₁₀ 24 jam berkisar antara 21,0 sampai 79,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rata-rata 41,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi didapatkan pada lokasi 11 dengan radius 1 km arah Barat PT Semen Padang dan titik 23 berada 1,5 km arah Timur Tenggara PT Semen Padang. Hal ini diperkirakan terjadi akibat pergerakan arah angin dominan pada siang dan malam hari.

3.1.2 Konsentrasi PM₁₀ dengan Software AERMOD

Pengoperasian AERMOD untuk menentukan prediksi sebaran dari polutan PM₁₀ dapat dilakukan

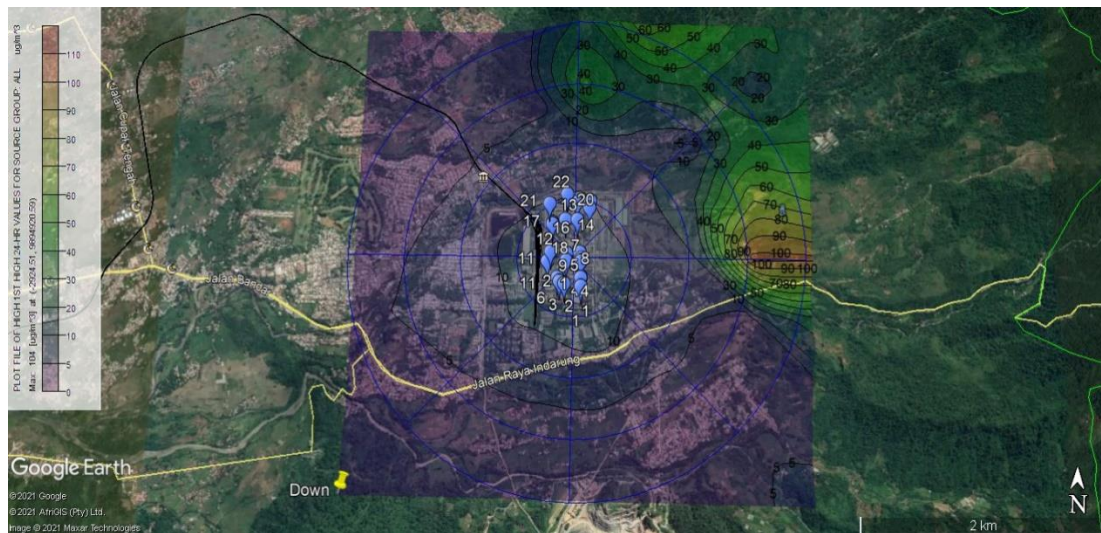
setelah dilakukan pengolahan data AERMET dan AERMAP. Ketinggian reseptor sebagai *output software* AERMOD diatur 1,6 meter sesuai dengan tinggi rata-rata orang Indonesia Tabel 2 berikut merupakan konsentrasi PM₁₀ hasil AERMOD di berbagai lokasi. Selain memunculkan nilai konsentrasi, pada AERMOD juga bisa dilihat sebaran konsentrasi PM₁₀ di 32 lokasi dengan menggunakan *Google Earth*. Gambar 7 merupakan prediksi sebaran PM₁₀ sekitar PT Semen Padang.

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 7 terlihat bahwa konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD pada 24 jam berkisar antara 3,5 sampai 68,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dengan nilai rata-rata 10,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi tertinggi didapatkan pada lokasi 31 dengan radius 2 km arah Timur PT Semen Padang yaitu sebesar 68,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Setelah dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada lampiran VII yaitu 75,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk pengukuran 24 jam, maka seluruh lokasi telah memenuhi baku mutu.

Secara keseluruhan konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ cenderung tinggi arah Timur PT Semen Padang. Hal ini disebabkan oleh perbedaan elevasi reseptor antara arah Barat dan Timur PT Semen Padang, reseptor dengan elevasi yang tinggi lebih cepat menerima beban pencemar udara dibandingkan dengan elevasi yang rendah. Selisih ketinggian reseptor dari muka tanah dengan tinggi cerobong berpengaruh terhadap nilai sebaran polutan. Semakin tinggi cerobong maka sebaran emisi akan lebih meluas karena semakin tinggi suatu tempat maka tekanan kebawah akan semakin berkurang serta angin yang bergerak semakin cepat sehingga menyebabkan emisi debu dapat tersebar cukup luas (Nauli, 2002).

Tabel 2. Konsentrasi PM₁₀ Hasil AERMOD

No.	Lokasi		AERMOD PM ₁₀ 24 Jam Ketinggian 1,6 m (µg/m ³)
	S	E	
1	0°56'26.63"	100°28'10.40"	7,9
2	0°56'32.06"	100°27'53.57"	7,0
3	0°56'52"	100°27'48"	8,5
4	0°57'12"	100°27'49"	7,0
5	0°57'19"	100°28'16"	9,0
6	0°57'12"	100°28'31"	7,5
7	0°56'52.43"	100°28'24.97"	13,0
8	0°56'40.73"	100°28'24.97"	12,0
9	0°56'22"	100°28'14"	7,0
10	0°56'29.31"	100°27'50.87"	7,0
11	0°56'52.46"	100°27'41.88"	7,0
12	0°57'17"	100°27'48"	5,8
13	0°57'21"	100°28'13"	7,5
14	0°57'16.23"	100°28'36.37"	7,0
15	0°57'4"	100°28'50"	9,0
16	0°56'22"	100°28'50"	14
17	0°56'12"	100°28'8"	6,5
18	0°56'18.33"	100°27'39.63"	4,5
19	0°56'42.48"	100°27'25.39"	5,0
20	0°57'26.48"	100°27'39.47"	5,5
21	0°57'36.7"	100°28'13.2"	5,0
22	0°57'28.28"	100°28'46.83"	5,0
23	0°57'1"	100°29'2"	33
24	0°56'17"	100°28'47"	8,0
25	0°56'23.23"	100°27'58.02"	6,0
26	0°56'6.79"	100°27'28,11"	3,5
27	0°56'53.19"	100°27'11"	4,5
28	0°57'29.1"	100°27'29.2"	5,0
29	0°57'51.4"	100°28'36.0"	4,0
30	0°57'34.7"	100°29'1.7"	4,0
31	0°56'59"	100°29'20"	68
32	0°56'8.70"	100°28'55.03"	37,0
Mean			10,65
Standar Deviasi			12,77
Rentang			3,5 - 68



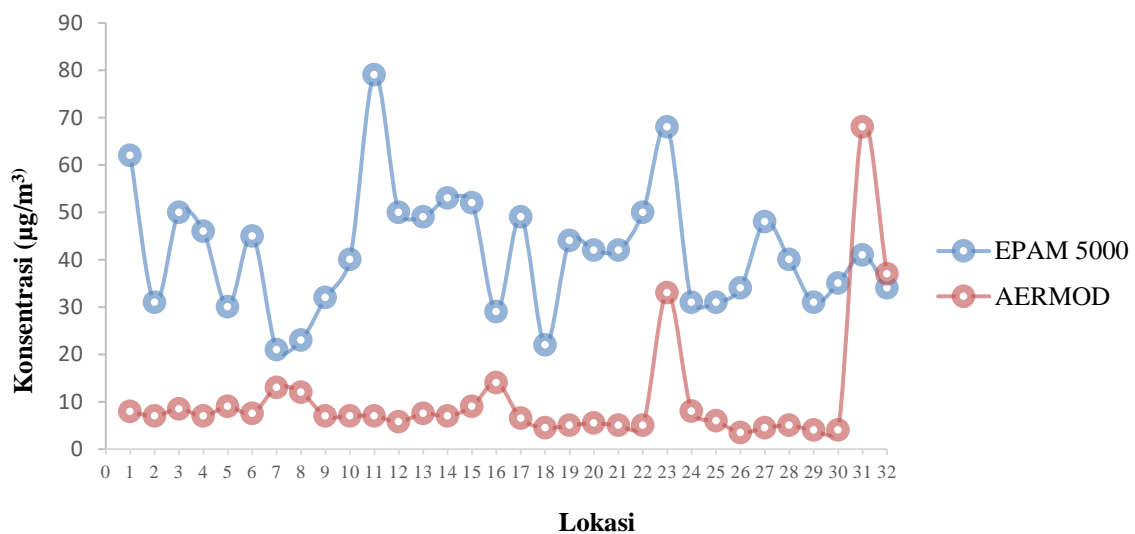
Gambar 7. Sebaran Konsentrasi PM₁₀ 24 Jam dengan Tinggi Reseptor 1,6 m

3.2. Validasi Hasil Prediksi AERMOD

Validasi dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran konsentrasi PM₁₀ secara langsung di lapangan menggunakan *EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor* dengan hasil prediksi sebaran konsentrasi PM₁₀ oleh *software* AERMOD. Selain itu, validasi juga diperlukan untuk mengetahui tingkat akurasi dari AERMOD dalam memprediksi penyebaran konsentrasi emisi di suatu wilayah. Data pengukuran yang didapat merupakan hasil pengukuran pada Maret 2021. Data pengukuran yang tersedia di tiap lokasi adalah data konsentrasi PM₁₀ selama 24 jam yang dibagi 4 shift. Perbandingan dilakukan dengan melihat konsentrasi PM₁₀ di lokasi yang sesuai antara pengukuran di lapangan dengan hasil prediksi sebaran. **Gambar 8** berikut menunjukkan perbandingan konsentrasi PM₁₀ secara langsung di lapangan menggunakan *EPAM 5000 Real Time Particulate Air*

Monitor dengan hasil prediksi sebaran konsentrasi PM₁₀ oleh *software* AERMOD.

Berdasarkan **Gambar 8** diatas, menunjukkan bahwa konsentrasi PM₁₀ tertinggi pada pengukuran secara langsung di lapangan menggunakan *EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor* pada lokasi 11 rata-rata 24 jam sebesar 79,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan prediksi konsentrasi PM₁₀ tertinggi pada *software* AERMOD pada lokasi 31 pada rata-rata 24 jam pengukuran sebesar 68,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Secara keseluruhan nilai hasil prediksi sebaran konsentrasi PM₁₀ oleh *software* AERMOD lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi PM₁₀ pengukuran secara langsung di lapangan menggunakan *EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor*. Nilai rata-rata sebaran konsentrasi PM₁₀ oleh *software* AERMOD adalah 10,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan nilai rata-rata konsentrasi PM₁₀ secara langsung di lapangan adalah 41,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 8. Perbandingan Sebaran Konsentrasi PM₁₀

Hal ini disebabkan AERMOD hanya memprediksi konsentrasi PM₁₀ dari emisi cerobong PT Semen Padang saja, sementara hasil pengukuran di lapangan memungkinkan adanya sumber lain penghasil PM₁₀ yang terdeteksi oleh EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor. Sumber lain penghasil PM₁₀ yang berada di sekitar PT Semen Padang kemungkinan adalah dari proses transportasi jalan raya, proses transportasi bahan dan produk semen di lingkungan pabrik serta adanya proses penambangan bahan baku semen yang berjarak lebih kurang 2 km dari cerobong pabrik PT Semen Padang.

4. Kesimpulan

Konsentrasi PM₁₀ dengan EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor berkisar antara 21 – 79 µg/m³ dengan rata-rata 24 jam sebesar 41,69 µg/m³. Jika dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada lampiran VII yaitu 75 µg/m³ untuk pengukuran 24 jam, lokasi 11 dengan koordinat S 0°56'52.46" dan E 100°27'41.88" tidak memenuhi baku mutu nilai konsentrasi PM₁₀ sebesar 79 µg/m³. Konsentrasi PM₁₀ dengan AERMOD pada 24 jam berkisar antara 3,5 sampai 68 µg/m³ dengan rata-rata 24 jam sebesar 10,65 µg/m³. Jika dibandingkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu 75 µg/m³ untuk pengukuran 24 jam, maka seluruh lokasi telah memenuhi baku mutu. Hasil prediksi sebaran konsentrasi PM₁₀ oleh software AERMOD lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi PM₁₀ pengukuran secara langsung di lapangan menggunakan EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor. Berdasarkan hasil uji statistik dengan SPSS, data konsentrasi PM₁₀ menggunakan EPAM 5000 Real Time Particulate Air Monitor berbeda nyata dengan data konsentrasi PM₁₀ hasil AERMOD.

DAFTAR PUSTAKA

- Cimorelli, A.J. (2004). AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. *Journal Of Applied Meteorology*, 44, 682-693.
- Colbeck, I. (1998). *Physical and Chemical Properties of Aerosols*, Blackie Academic and Professional. London.
- Hinds, WC. (1982). *Aerosol Technology : Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Hua, S, Tian, H, Wang, K, Zhu, C, Gao, J, Ma, Y. (2016). Atmospheric Emission Inventory of Hazardous Air Pollutants From China's Cement Plants: Temporal Trends, Spatial Variation Characteristics and Scenario Projections. *Atmospheric Environment*, 128, 1-9.
- Koren, H. (2003). *Handbook of Environmental Health Vol. 1 : Biological, Chemical and Physical Agents of Environmentally Related Disease*. Lewis Publ : London.
- Kurniawan, E. (2014). *Pemetaan Konsentrasi PM₁₀ (Particulate Matter 10 µm) dan Konsentrasi Logam Ca, Al, Fe, Si dan Na dalam PM₁₀ di Udara Ambien Kawasan Timur PT Semen Padang dan Sekitarnya*. Tugas Akhir Sarjana. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Lindawaty. (2010). *Partikulat (PM₁₀) Udara Rumah Tinggal yang Mempengaruhi Kejadian Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) pada Balita (Penelitian di Kecamatan Mampang Prapatan, Jakarta Selatan Tahun 2009-2010)*. Tesis. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Monin, A.S. and A.M. Obukhov. (2008). *Basic Laws of Turbulent Mixing in The Surface Layer of The Atmosphere*. AF Cambridge Research Centre, Cambridge, Massachusetts, American Meteorological Society.
- Nauli, T. (2002). *Pola Sebaran Polutan dari Cerobong Asap*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN.
- Nugroho, AW, Sofyan, A. (2011). *Sistem Pemodelan Kualitas Udara Terintegrasi dengan Menggunakan AERMOD, WRF-CHEM dan PYTHON*. Institut Teknologi Bandung.
- Peraturan Pemerintah RI No 22 tahun 2021. *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- PT Semen Padang. (2018). *Komitmen dalam Keberlanjutan Laporan Tahunan 2018 PT Semen Padang*. Padang.
- Saeni, MS. (1989). *Zat-zat Pencemar Udara, Bahan Pengajaran Kimia Lingkungan*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat. Institut Pertanian Bogor.
- Samuel, JW. (1973). *Aerosol in Fundamental of Air Pollution*, Addition Willey. New York, USA, 347-363.
- Soedomo, M. (1999). *Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (1992). *Protocol for Determining the Best Performing Model*. US Environmental Protection Agency (EPA) Publication, North Carolina (US).
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (1995). *Industri Source Complex-3 (ISC3) Dispersion Model, Volume 1 dan 2:User Instruction*. US Environmental Protection Agency (EPA) Publication, North Carolina (US).
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2004). *Description of Model Formulation*. US Environmental Protection Agency (EPA) Publication, North Carolina (US).
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2021). *Meteorological Processors*. <https://www.epa.gov/scram/meteorological-processors-and-accessory-programs>.
- Wangsa, D. (2015). *Pemetaan Konsentrasi PM₁₀ (Particulate Matter 10 µm) dan Konsentrasi Logam Ca, Al, Fe, Si dan Na dalam PM₁₀ di Udara Ambien Kawasan Barat PT Semen Padang dan Sekitarnya*. Tugas Akhir Sarjana. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas.

- Wardhana, WA. (2001). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi, Yogyakarta.
- Zou, L, Ni, Y, Gao, Y, Tang, F, Jin, J, Chen, J. (2018). Spatial Variation of PCDD/F and PCB Emissions and Their Composition Profiles in Stack Flue Gas From The Typical Cement Plants in China. *Chemosphere* 195, 491-497.