



## Analisis Sebaran Emisi NH<sub>3</sub> pada Cerobong Industri Pupuk dengan Pemodelan AERMOD

Himmatul Aliyah Rosydi<sup>1</sup> dan Firra Rosariawari<sup>1\*</sup>

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi : [firra.tl@upnjatim.ac.id](mailto:firra.tl@upnjatim.ac.id)

**Diterima:** 26- 10- 2023  
**Disetujui:** 01- 11 - 2023  
**Diterbitkan:** 01- 11-2023

**Kata Kunci:**  
AERMOD, AERMET, NH<sub>3</sub>

### ABSTRAK

Pada era 4.0 ini industri di seluruh dunia mengalami perkembangan pesat, termasuk Industri Pupuk. Pertumbuhan industri yang cepat ini juga berarti terjadi peningkatan produksi limbah dan emisi, baik dari produk yang dihasilkan melalui sisa pembakaran atau reaksi kimia yang menghasilkan suatu gas buang dan uap hasil pembakaran. Peningkatan produksi limbah serta emisi merupakan tantangan yang harus dipecahkan dengan cara memastikan emisi yang diperoleh dari industri tersebut tidak mempengaruhi kehidupan masyarakat yang ada di area industri tersebut. Untuk mendapatkan data yang akurat, diperlukan pengolahan data lingkungan sekitar pabrik pupuk, termasuk sebaran emisi dari cerobong asap dan filter di industri tersebut. Data ini akan diolah menggunakan perangkat lunak AERMOD dan AERMET untuk membuat Peta Pemodelan sebaran emisi. Pemodelan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa hasil konsentrasi zat pencemar NH<sub>3</sub> tersebar ke wilayah timur. Wilayah timur tersebut terkena dampak paparan tertinggi yang mencakup jarak hingga 250 meter (*impact radius*). Wilayah yang terpengaruh meliputi area pabrik, pemukiman, dan kantor. Oleh karena itu, penting untuk memiliki peta yang mencakup sebaran udara dari emisi industri ini, sehingga kita bisa memperkirakan penyebaran emisi dengan menggunakan AERMOD dan AERMET.

**Received:** 26- 10- 2023  
**Accepted:** 01-11- 2023  
**Published:** 01- 11- 2023

**Keywords:**  
AERMOD, AERMET, NH<sub>3</sub>

### ABSTRACT

*In the 4.0 era, industries throughout the world are experiencing rapid development, including the fertilizer industry. This rapid industrial growth also means an increase in waste production and emissions, both from products produced through combustion residue or chemical reactions that produce exhaust gases and combustion vapors. Increasing waste production and emissions are challenges that must be solved by ensuring that emissions from industry do not affect the lives of people in the industrial area. To obtain the accurate data, it is necessary to process environmental data around the fertilizer factory, including the distribution of emissions from chimneys and filters in the industry. This data will be processed using AERMOD and AERMET software to create an emission distribution modeling map. From the modeling map that had been done, the concentration of NH<sub>3</sub> pollutants is distributed in the eastern region. That place is affected by the highest exposure, covering a distance of up to 250 meters (impact radius). The affected areas include factory, residential, and office areas. Therefore, having a map is very important for covering air distribution and industrial emissions, so that we can predict the distribution of emissions using AERMOD and AERMET.*

## 1. PENDAHULUAN

Udara adalah gabungan gas-gas yang melingkupi permukaan bumi. Hal tersebut dikarenakan terdapat beberapa jenis gas, seperti nitrogen sebesar 78%, oksigen sekitar 20%, karbon dioksida sebesar 0,30%, argon sebesar 0,93%, dan berbagai jenis gas yang lain. Udara memiliki peranan yang paling penting untuk mendukung kebutuhan semua makhluk hidup. Campuran gas-gas ini melindungi bumi dan unsur

utamanya adalah nitrogen sekitar 78,09% dan oksigen sekitar 20,94% (Mukono, 2008; Hikmiah, 2018).

Kualitas udara yang dihasilkan adalah suatu parameter yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk menilai keadaan udara di daerah atau tempat tertentu. Dampak buruk yang terjadi pada kesehatan dengan kurun waktu pendek bahkan panjang dapat diakibatkan oleh pencemaran udara. Gangguan yang disebabkan oleh pencemaran udara dapat secara langsung menyerang saluran pernafasan, menyebabkan penyakit jantung, menimbulkan penyakit kanker di beberapa bagian

organ tubuh, permasalahan reproduksi, hipertensi, bahkan kematian (Aryanti, 2019).

Pada saat ini, industri adalah sumber polusi udara terbesar dengan jenis pengolahan dan bahan baku yang digunakan memengaruhi jenis pencemaran yang berasal dari udara. Pencemaran udara yang disebabkan oleh industri seringkali didapatkan dari cerobong asap pada pabrik dan pabrik pupuk (WHO, 2011). Pabrik sendiri seringkali menggunakan suatu kegiatan pembakaran sebagai bagian dari prosesnya sehingga menghasilkan limbah yang ada di udara dalam bentuk partikel serta gas.

Sebagai bagian dari Industri Pupuk yang ada di Indonesia, potensi resiko berbahaya seperti kebakaran, ledakan, dan pencemaran lingkungan akan sangat mungkin terjadi. Salah satu contoh bahaya yang dapat berdampak besar pada kegiatan Industri Pupuk adalah apabila terjadi suatu kebocoran dicerobong asap maupun filter ketika proses produksi berlangsung. Dalam bentuk perlindungan karyawan dan penduduk lokal dari potensi paparan amonia yang ada di udara, Industri Pupuk sendiri secara berkala menganalisis gas pencemar dan sebaran emisi yang terjadi di tempat-tempat yang menimbulkan polusi seperti pabrik dan kawasan sekitarnya, termasuk kawasan pemukiman penduduk.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 terkait Pengendalian Pencemaran Udara, Pencemaran Udara didefinisikan sebagai masuknya suatu substansi, energi, ataupun unsur yang lain ke atmosfer yang disebabkan oleh perbuatan manusia yang dapat menyebabkan penurunan kualitas udara ambien hingga mencapai tingkat di mana udara tersebut tidak lagi dapat memenuhi perannya dengan baik. Konsekuensi dari aktivitas tersebut adalah termasuk peningkatan tingkat pencemaran. Pencemaran tersebut dapat dalam bentuk suatu zat yang dihasilkan melalui reaksi kimia dan partikel yang bisa menyebabkan pencemaran udara di sekitarnya.

Industri Pupuk dapat menciptakan polusi udara sehingga sangat penting dilakukan pemantauan kualitas udara dan mencegah dampak berbahaya pada industri tersebut. Peningkatan gas buang seperti  $\text{NH}_3$ , CO, atau gas lainnya juga dapat menyebabkan pencemaran udara serta peningkatan pencemaran. Berdasarkan studi epidemiologis dapat diketahui bahwa terdapat hubungan antara penyebaran beberapa polutan, seperti flu dan infeksi saluran pernafasan, serta meningkatnya kasus asma di antara masyarakat sekitar industri. Untuk mencegah dampak buruk ini, penting untuk menerapkan pemodelan sebaran emisi.

Metode yang dapat digunakan dalam memperkirakan alur penyebaran udara adalah menggunakan pemodelan penyebaran pencemaran udara. Salah satu contoh pemodelan yang umum digunakan untuk memperkirakan alur distribusi pencemaran yang ada di udara yaitu Model Dispersi Gauss. Pemodelan Dispersi Gauss digunakan sebagai proyeksi pencemaran udara yang bersumber dari emisi suatu industri. Model Gauss memungkinkan prediksi dispersi suatu pencemaran udara yang berasal dari suatu sumber emisi atau berasal dari sumber-sumber yang lain dengan cara mempertimbangkan beberapa faktor internal. Faktor internal tersebut dapat dicontohkan seperti kondisi cuaca, topografi, dan struktur bangunan (Rahmawati, 2003). Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa konsentrasi dan alur penyebaran suatu

emisi sehingga nantinya dapat ditentukan alternatif untuk mengurangi luas sebaran alur emisi tersebut.

AERMOD adalah sebuah perangkat halus yang mengadopsi metode pemodelan dispersi atmosfer dengan komponen utama yang terdiri dari tiga jenis pemodelan. Tiga pemodelan tersebut adalah pemodelan dengan arah serta kecepatan suatu angin (WRPLOT *View*), pengolahan data dari permukaan bumi (AERMAP), dan pemodelan meteorologi (AERMET *View*). Perangkat halus yang bernama AERMOD dapat menggunakan jenis pendekatan *Gaussian bi-Gaussian* dalam melakukan pemodelan dispersi yang nantinya akan menghasilkan suatu konsentrasi polutan yang ada di udara ambien. AERMOD juga mampu digunakan baik di wilayah perkotaan maupun pedesaan untuk menilai emisi yang dilepaskan oleh suatu area pada beberapa kondisi.

Penelitian yang dilakukan tersebut diharapkan nantinya dapat menciptakan pola sebaran emisi yang ada di udara berupa zat amonia ( $\text{NH}_3$ ), dapat menghasilkan grafik yang di dalamnya terdapat luas wilayah yang terkena dampak sebaran emisi pada cerobong (*impact radius*), dan untuk mengetahui apakah sebaran emisi yang dihasilkan melebihi baku mutu atau tidak yaitu sebesar 2 PPM. Industri Pupuk dengan menggunakan perangkat lunak AERMOD itu sendiri. Selain itu, tujuan adanya penelitian ini adalah memberikan solusi maupun alternatif yang dapat dilakukan untuk mencegah dampak dari pola sebaran emisi  $\text{NH}_3$ , pada cerobong Industri Pupuk.

## 2. METODE

Penelitian pemodelan dengan menggunakan AERMOD akan memiliki hasil pemodelan dan akan digunakan data tersebut sebagai dasar dalam merancang perbaikan untuk pelaksanaan program tersebut. Beberapa data yang diperlukan ketika penelitian yaitu data sekunder yang di dalamnya terkait hasil pengukuran emisi  $\text{NH}_3$  pada cerobong pabrik selama Bulan Agustus 2023. Pemilihan Bulan Agustus dilakukan karena bulan ini termasuk dalam musim kemarau, yang memungkinkan data emisi  $\text{NH}_3$  dapat direkap dengan baik.

Data yang terkumpul akan dianalisis menggunakan perangkat lunak AERMOD dan AERMET. AERMOD adalah pemodelan gaussian dengan jarak jangkauan yang pendek yaitu jarak jangkauan tidak lebih dari 50 km (Cimorelli, dkk, 1998; US EPA, 1998a, b). Jangkauan jarak tersebut akan digunakan sebagai simulasi dalam penyebaran suatu emisi di cerobong yang didapatkan dari suatu kegiatan industri.

Pemodelan AERMOD meliputi AERMOD sebagai pemodelan utama, AERMET sebagai pengolah meteorologi, dan AERMAP sebagai pengolah geomorfologi (Ciromelli et al, 2005). AERMET sendiri memiliki fungsi untuk mensintesis data cuaca seperti kecepatan dan arah angin, suhu, tutupan awan serta data permukaan seperti albedo, rasio Bowen, dan kekasaran permukaan. Semua data tersebut diolah menggunakan AERMET sehingga dapat diketahui hasil perhitungan parameter PBL permukaan, seperti panjang Monin-Obukov, kecepatan suatu gesekan, skala kecepatan dari konveksi, skala suhu, tinggi pencampuran, dan panas permukaan. Profil dari kecepatan angin vertikal, turbulensi horizontal dan vertikal, kemiringan dan suhu potensial merupakan parameter PBL pada ketinggian atas yang potensial juga dihitung.

Selain itu, pemodelan AERMOD menggunakan kontur dari suatu lokasi selama proses penelitian dilakukan karena sebagai bagian dari topografi (Steven et al., 2004). Pemodelan AERMOD sendiri dapat memperkirakan sebaran suatu kualitas udara yang berasal dari sumber bergerak (Zou et al., 2010). Salah satu keunggulan pemodelan AERMOD dengan suatu perangkat lunak yang lain yaitu keunggulannya dalam memperkirakan konsentrasi permukaan tanah atau *Ground Level Concentration* (GLC) yang diakibatkan oleh pengaruh lapisan batas planet atau *Planetary Boundary Layer* (PBL) (Yang et al., 2007). Beberapa dari peneliti telah menggunakan pemodelan AERMOD sebagai salah satu upaya dalam pencegahan polusi di udara. Misalnya, pemodelan AERMOD digunakan oleh Oscar dan Andrea (2018) untuk memperkirakan dampak yang dihasilkan dari penurunan suatu kualitas udara yang berasal dari operasi pabrik kertas, dan Patrick et.al. (2017) memperkirakan dampak kesehatan dari penurunan kualitas udara akibat pengoperasian Industri Pupuk yang menggunakan AERMOD.

Pemodelan AERMAP dapat digunakan sebagai persiapan data topografi dari data grid yang telah dipilah dari *Digital Elevation Model* (DEM). Daerah reseptor juga didapatkan dari perhitungan permukaan laut (MSL) (Ciromelli dkk, 2005). Hasil analisis nantinya akan disajikan dalam bentuk grafik dan dianalisis dengan cara deskriptif. Selain itu, penelitian yang telah dilakukan nantinya akan terbentuk suatu solusi yang dapat diterapkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Data Emisi Cerobong Industri Pupuk

Data emisi yang dihasilkan pada cerobong asap pabrik adalah data yang dihasilkan pada pengukuran *sample* di Bulan Agustus 2023. Berikut merupakan data emisi cerobong di Industri Pupuk:

**Tabel 1.** Data Emisi Unit Filter Industri Pupuk

Parameter	Satuan	Hasil
<b>Kecepatan gas buang udara (<math>\mu</math>)</b>	m/s	0,694
<b>Suhu (T)</b>	°C	60
<b>Panjang</b>	cm	539
<b>Lebar</b>	cm	440
<b>Tinggi</b>	cm	210
<b>Area Surface</b>	m <sup>2</sup>	88,55
<b>Volume</b>	m <sup>3</sup>	49,8036
<b>Konstanta</b>		0,000004347335082
<b>Emission Rate</b>	g/s	41,28861686
<b>Konsentrasi Udara Area dalam 3 Meter</b>	mol	2223,375
<b>Massa Udara dalam 3 Meter</b>	g	64122,135

<b>Emisi NH<sub>3</sub> dalam 3 Meter</b>	ppm/s	643,9058347
---	-------	-------------

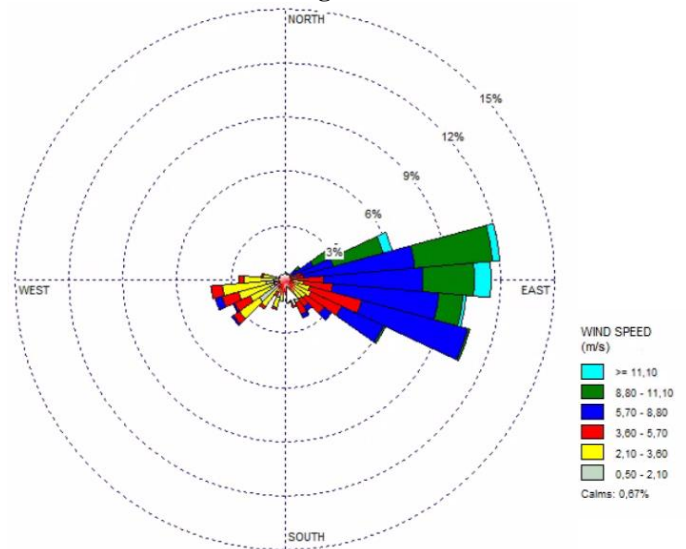
Sumber: Pengambilan Data di Lapangan

**Tabel 2.** Data Emisi Unit Reaktor Industri Pupuk

Parameter	Satuan	Hasil
<b>Kecepatan gas buang udara (<math>\mu</math>)</b>	m/s	0,694
<b>Suhu (T)</b>	°C	60
<b>Jari-Jari</b>	cm	287,5
<b>Diameter</b>	cm	575
<b>Tinggi</b>	cm	2400
<b>Area Surface</b>	m <sup>2</sup>	88,55
<b>Volume</b>	m <sup>3</sup>	485,228125
<b>Konstanta</b>		0,000004347335082
<b>Emission Rate</b>	g/s	226,2495556
<b>Konsentrasi Udara Area dalam 3 Meter</b>	mol	64985,9096
<b>Massa Udara dalam 3 Meter</b>	g	1874193,633
<b>Emisi NH<sub>3</sub> dalam 3 Meter</b>	ppm/s	120,7183461

Sumber: Pengambilan Data di Lapangan

#### 3.2 Analisa Data Meteorologi



**Gambar 1.** Peta *Windrose*

Diagram angin (*windrose*) pada Gambar 1 memperlihatkan arah dan kecepatan angin di lokasi Industri Pupuk selama bulan Agustus. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa arah angin yang dominan adalah ke timur dengan kecepatan maksimum  $\geq 11,10$  m/s, dan besaran kecepatan minimum berada di antara 2,10 – 3,60 m/s. Rata-rata

kecepatan suatu angin adalah 6,9 m/s. Frekuensi keadaan hening ataupun kecepatan angin yang berada di bawah 1,0 m/s adalah 0,67%.

### 3.3 Hasil Pemodelan Sebaran Emisi NH<sub>3</sub>

Menurut data input emisi cerobong yang diperoleh dari hasil suatu topografi dan model data arah angin, pemrograman pemodelan AERMOD telah dilakukan dengan kurun waktu satu bulan, yaitu pada bulan Agustus. Hasil pemodelan penyebaran NH<sub>3</sub> secara rata-rata bulanan (Gambar 2) menunjukkan bahwa konsentrasi NH<sub>3</sub> melewati batas mutu yang telah ditetapkan sebesar 2 PPM. Nilai tertinggi atau puncak yang didapatkan adalah sebesar 6,11 PPM. Pola penyebarannya searah dengan arah angin, yaitu mengarah ke arah timur.

Rata-rata konsentrasi tertinggi dalam kurun waktu 24 jam (Gambar 3) menunjukkan bahwa ada konsentrasi yang melebihi batas mutu yaitu dalam radius 250 m. Radius ini dikenal sebagai *Impact radius*. *Impact radius* sendiri merupakan jarak wilayah yang terkena dampak dari adanya emisi udara yang telah dihasilkan Hal tersebut menandakan bahwa selama satu bulan, terdapat konsentrasi yang apabila dihitung rata-rata dalam periode 24 jam maka melampaui baku mutu yang telah ditetapkan.

Dengan mengetahui hal tersebut untuk mengatasi polusi udara dari industri dapat dimulai dengan cara pengidentifikasi polutan melalui pengamatan, lalu dilanjutkan dengan menetapkan tingkat emisi yang didapatkan dari sumber pencemaran, membandingkannya berdasarkan standar emisi yang telah ditetapkan, memantau pengendalian pencemaran yang ada di udara dan tentunya merencanakan strategi pengendalian yang tepat dan detail (Permana, 2020). Salah satu cara mengontrol pencemaran udara yang direkomendasikan dalam penurunan emisi adalah dengan menggunakan cerobong asap yang memiliki desain *scrubber*. (Sudaryanto, Windarso, Nuryani, & Sunarno, 2022).

Anggara dan Nurlaila (2021) mengutarakan pandangan bahwa “*scrubber* merupakan suatu alat yang didesain agar kandungan suatu gas berbahaya didalamnya dan tentunya dapat membahayakan lingkungan menjadi berkurang”. Proses desain *scrubber* membutuhkan perhitungan yang tepat dan detail dikarenakan harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh organisasi internasional. Salah satu contoh organisasi Internasional tersebut adalah *International Maritime Organization* (IMO) 2020 serta MARPOL (*Marine Pollution*) Annex VI.

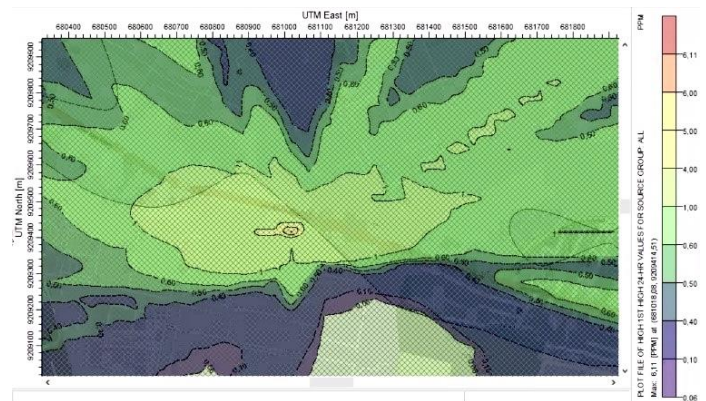
Pemakaian modifikasi desain cerobong dengan menggunakan model *scrubber* nantinya akan menghasilkan beberapa partikel yang memiliki diameter lebih kecil, seperti kabut. Dampak dari partikel berdiameter kecil adalah peningkatan kepadatan asap dan tingkat pelepasan debu. Analisis yang dilakukan pada penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara rata-rata kelompok sebelum dan sesudah intervensi. Pemakaian *scrubber* dapat menurunkan kadar suatu debu yang ada di udara ( $\text{sig } 0,000 < 0,05$ ). Rata-rata selisih kadar debu tersebut sebesar 0,2726 dan terjadi

penurunan sebesar 54,2978% (Sudaryanto, Windarso, Nuryani, & Sunarno, 2022).

Beberapa langkah dalam mengatasi polusi yang ada di udara juga dapat dilakukan dengan membangun *green belt*, khususnya di sekitar kawasan suatu industri. *Green belt* tersebut bertujuan untuk melindungi lingkungan dan keanekaragaman hayati dari polusi yang tercemar di udara. Daun dari tanaman *green belt* mempunyai kemampuan dalam menangkap gas dan polutan melalui permukaan daun. Oleh karena itu, *green belt* di sekitar kawasan industri dapat berfungsi untuk menangkal dampak polusi udara yang ada di permukaan sekitar lingkungan dekat industri. (Susanto & Komarawidjaja, 2018).

Pemerintah sebaiknya memprioritaskan pengelolaan polusi udara sebagai bagian penting dari kebijakan terkait pengendalian polusi udara dan dampaknya, terutama terhadap kesehatan masyarakat (Joe McCarthy, 2021). Pemerintah mempunyai suatu kewenangan untuk meninjau kembali kebijakan-kebijakan yang ada. Kebijakan tersebut berkaitan dengan standar emisi, dikarenakan untuk menetapkan kebijakan-kebijakan baru serta merencanakan dan menerapkan strategi pengendalian kualitas udara yang efektif berbasis manajemen. (Permana, 2020). Dalam meningkatkan kesehatan pada masyarakat sekitar secara signifikan dapat melalui penerapan kebijakan dan peraturan yang mendukung adanya pengelolaan polusi udara yang efektif (Inoue, Nunokawa, Kuru, & Ogasawara, 2020).

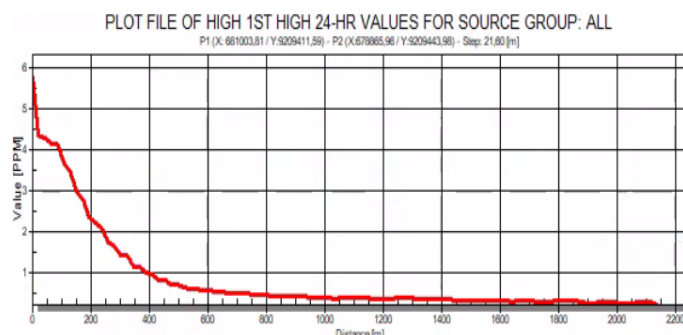
Penggunaan suatu teknologi yang bernama teknologi hijau dapat menjadi alternatif yang menguntungkan sehingga nantinya polusi udara dapat berkurang. Menurut Joe McCarthy, 2021 teknologi hijau juga bisa mengurangi anggaran yang digunakan untuk perawatan kesehatan serta memberikan beberapa manfaat dalam perekonomian yang lebih besar dari anggaran dalam investasi di awal. Desain cerobong dengan menggunakan *scrubber* dapat menjadi suatu pilihan dalam mengolah emisi yang ada pada sumber-sumber non-aktif. Salah satu sumber non-aktif tersebut adalah industri kecil dan menengah. Desain *scrubber* relatif ekonomis, mudah dioperasikan, membutuhkan sedikit perawatan, serta sederhana (Sudaryanto, Windarso, Nuryani, & Sunarno,



2022).

**Gambar 2.** Peta Pola Penyebaran NH<sub>3</sub>  
**Gambar 3.** Grafik Pola Penyebaran NH<sub>3</sub>

Penyapu Di Terminal Purabaya Kabupaten Sidoarjo.



Surabaya, *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 10(02), 138–148.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menggunakan pemodelan AERMOD untuk prediksi pola sebaran emisi NH<sub>3</sub>, pada cerobong Industri Pupuk, maka diketahui sebaran polutan emisi yang terjadi adalah sebesar 6,11 PPM yang mana sebaran polutan tersebut melebihi standar baku mutu dengan nilai 2 PPM. Emisi NH<sub>3</sub> yang dihasilkan oleh cerobong pabrik Industri Pupuk lebih dominan mengarah ke Timur dimana hal tersebut selaras dengan arah mata angin yang paling unggul. Daerah yang terkena dampak (*impact radius*) dengan paparan tertinggi mencakup jarak hingga 250 meter.

Wilayah yang terpengaruh meliputi area pabrik, pemukiman, dan kantor. Solusi yang dapat diberikan untuk mengurangi *impact radius* adalah dengan menggunakan tambahan *Scrubber* pada cerobong pabrik. *Scrubber* dapat mengontrol serta membersihkan emisi dari operasi suatu industri menggunakan cairan atau padatan di dalamnya. Pemerintah sendiri juga harus memprioritaskan penanggulangan pencemaran yang ada di udara sebagai hal yang penting berdasarkan kebijakan terkait pengendalian polusi udara dan dampaknya. Dampak yang paling utama adalah dampak terhadap kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat membantu menentukan radius aksi emisi NH<sub>3</sub> serta alternatif solusi yang dapat diusulkan untuk meminimalkan paparan emisi NH<sub>3</sub>.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Rasa terima kasih yang sangat besar diucapkan kepada Ibu Firra Rosariawari, dosen yang membimbing kami, seluruh dosen di Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur, dan pihak Industri Pupuk dimana bantuan yang diberikan dalam menyelesaikan penelitian sangatlah tidak cukup hanya diucapkan dengan terima kasih. Tak lupa rasa terima kasih juga diutarakan kepada orang tua serta teman-teman kami dimana selalu memberikan semangat dan dukungan dalam proses dilakukannya penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

Aryanti, S. (2019). Dampak Pencemaran Udara (Polusi Udara) Terhadap Penyakit Hipertensi . Retrieved from <http://p2ptm.kemkes.go.id/kegiatan-p2ptm/subdit-penyakit-jantung-dan-pembuluh-darah/dampak-pencemaran-udara-polusi-udara-terhadap-hipertensi>

Anggara, A., & Nuraila, Q. (2021). *Perancangan pembersih Gas Buang Kapal Dengan kapasitas 70.000 Kg/jam*. 243-254.

Cimorelli, A. J. et. al. (2005). AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Application. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization, *Journal of Applied Meteorology* 44, 682-693.

Hikmiyah, Amanda. (2018). Analisis Kadar Debu dan NO<sub>2</sub> Di Udara Ambien Serta Keluhan Pernapasan Pada Pekerja

Inoue, T., Nunokawa, N., Kurisu, D., & Ogasawara, K. (2020). *Particulate air pollution, birth outcomes, and infant mortality: Evidence from Japan's automobile emission control law of 1992*. *SSM - Population Health*, 11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2020.10059>

Jurnal Maritim. (n.d.). Retrieved from IMO 2022, lebih dari 3000 Kapal dipastikan Gunakan Scrubber: <https://jurnalmaritim.com/imo-2020-lebih-dari-3000-kapal-dipastikan-gunakan-scrubber/>

Joe Mccarthy. (2021). *Air Pollution, Not Just Poor Nutrition, Can Lead to Childhood Stunting: Report*. Retrieved from <https://www.globalcitizen.org/> : <https://www.globalcitizen.org/en/content/air-pollution-causes-stunting-report/>

Monin, A.S. and A.M. Obukhov. (1954). Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere (english translation by John Miller for Geophysics Research Directorate, AF Cambridge Research Centre, Cambridge, Massachusetts, by the American Meteorological Society), *Originally published in Tr. Akad. Nauk SSSR Geophys. Inst.* 24(151):163-187.

Mukono, H.J. (2008). *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Surabaya. Airlangga University Press.

Patrick, Z., et. all. (2017). Effect of Auditor Independence on Audit Quality: A Review of Literature. *International Journal of Business and Management Invention* 6(3), 51-59.

Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

Permana, A. (2020). Cara Pengendalian Pencemaran Udara Menurut Prof.Puji Lestari. Retrieved from <https://www.itb.ac.id/berita/detail/57584/cara-pengendalian-pencemaran-udara-menurut-prof-puji-lestari>

Rahmawati, F. 2003. Aplikasi Model Dispersi Gauss untuk Menduga Pencemaran Udara Kawasan Industri. Bogor: Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Steven, G.P., Alan, J.C., Robert, J.P., Roger, W.B., Jeffrey, C.W., Akula, V., Robert, B.W., Russel, F.L., dan Warren, D.P. (2004). AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part II: Model Performance Against 17 Field Study Database. *J. Appl. Meteorol.*, 44:694-708.

Sudaryanto, S., Windarso, S. E., Nuryani, S., & Sunarno, J. M. (2022). Modifikasi Cerobong Asap Model Scrubber

- Untuk Menurunkan Kadar Debu Dan Kepekatan Asap Pada Sumber Emisi Tidak Bergerak. (N. D. Prasetyawati, Interviewer)
- Susanto, J. P., & Komarawidjaja, W. (2018). Pembangunan Green Belt Sebagai Antisipasi Pencemaran Udara. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 155-163. Retrieved from <https://ejournal.bppt.go.id/index.php/JTL/article/download/2618/pdf/6605>
- US Environmental Protection Agency. (1998). *AERMOD: Revised Draft Guide for the AMS/EPA Regulatory Model AERMOD*. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- US Environmental Protection Agency. (1998). *Revised Draft AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP)*. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- World Health Organization. The World Medicine Situation 2011 3ed. (2011). *Rational Use of Medicine*. Geneva.
- Yang, D., Chen, G., dan Yu, Y., (2007). InterComparison of AERMOD and ISC3 Modeling Results to the Alaska Tracer Field Experiment. *Chin. J. Geochem.*, 26(2), 182-185.
- Zou, B., Zhan, F., Wilson, J., dan Zeng, Y.,(2010). Performance of AERMOD at Different Scales. *Simul. Model. Pract. Th.*, 18:612-623.