

Pemodelan Sebaran Emisi Suspended Particulate Matter ukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ dari Cerobong PLTU Tanjung Jati B Jepara dengan Software *AERMOD VIEW*

Muhammad Syahid A*), Haryono S Huboyo **), Budi Prasetyo Samadikun **)

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email* : amrusyahid@gmail.com

Abstrak

Operasional PLTU Tanjung Jati B menghasilkan emisi yang salah satu parameternya adalah partikulat. Emisi polutan partikulat ini dapat memberikan dampak selain terhadap lingkungan juga terhadap kesehatan. Untuk mengetahui sebaran dari emisi partikulat lebih spesifik parameter SPM ke wilayah di sekitarnya digunakan Software *AERMOD View*. Data yang digunakan pemodelan *AERMOD View* antara lain adalah data konsentrasi SPM₁₀, beban emisi SPM₁₀, data meteorologi berupa arah angin dan kecepatan angin, dan data topografi wilayah sebaran model. Pemodelan dilakukan dalam kurun waktu dua tahun dengan pembagian musim kemarau dan musim hujan. Selain SPM₁₀ dilakukan juga pemodelan terhadap Krom yang merupakan trace element dengan konsentrasi tertinggi Hasil dari model *AERMOD View* menunjukkan bahwa sebaran Emisi SPM₁₀ dan Krom dari PLTU Tanjung Jati B Jepara cenderung bergerak ke arah tenggara sesuai dengan arah angin. Pola sebaran Emisi SPM₁₀ dan dari PLTU pada tahun 2017 cenderung lebih luas dibandingkan tahun 2016. Konsentrasi maksimum dari hasil estimasi Software *AERMOD View* terhadap parameter emisi SPM₁₀ dan Krom terjadi di Desa Bucu yang terletak di lereng Gunung Muria sebelah tenggara PLTU.

Kata kunci: Suspended Particulate Matter; PM₁₀; AERMOD VIEW, Emisi PLTU, Dispersi

Abstract

[Dispersion Modeling of Suspended Particulate Matter with size $\leq 10 \mu\text{m}$ Emission from Tanjung Jati B Jepara Coal-fired Powerplant Chimney with AERMOD VIEW Software]. The operation of Tanjung Jati B coal-fired power plant produces emissions, one of which is particulate matter. These particulate pollutant emissions can have an impact on the environment as well as on health. To find out the dispersion of particulate emissions more specific parameters PM₁₀ to the surrounding area AERMOD View Software is used. The data used in AERMOD View modeling include data on PM₁₀ concentrations, PM₁₀ emission loads, meteorological data in the form of wind direction and wind speed, and topographic data on the dispersion model area. Modeling is carried out within two years with the dispersion of the dry season and the rainy season. Besides PM₁₀, modeling of Chrome is also performed. The results of the AERMOD View model show that the dispersion of PM₁₀ and Chrome emissions from Tanjung Jati B Jepara power plant tends to move to the southeast in accordance with the wind direction. The dispersion patterns of PM₁₀ and Chrome Emissions from PLTU in 2017 tend to be wider than in 2016. The maximum concentration of the AERMOD View Software estimation results on PM₁₀ emission parameters and Chrome occurs in Desa Bucu which is located on the slopes of Mount Muria in the southeast of the coal-fired power plant.

Keywords: PM₁₀; AERMOD VIEW, Coal-fired Power Plant, Emission Dispersion

PENDAHULUAN

Pada tahun 2014 Pemerintah Indonesia memiliki target listrik nasional sebesar 35.000 Megawatt. Berdasarkan peningkatan konsumsi listrik dan juga target dari pemerintah, maka dilakukan pembangunan pembangkit – pembangkit listrik yang tersebar di seluruh wilayah di Indonesia. PT. Tanjung Jati B yang beroperasi di wilayah Kabupaten Jepara merupakan salah satu pembangkit listrik yang dibangun untuk memenuhi target tersebut. PT Tanjung Jati B mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap memiliki total 4 unit pembangkitan dengan kapasitas 4 x 660 MW dengan bahan bakar batu bara. PLTU Tanjung Jati B Jepara memiliki 2 buah cerobong asap yang setiap cerobongnya menyalurkan gas buang dari dua unit pembangkit. Parameter partikulat yang ada dalam gas buang PLTU merupakan salah satu residu hasil pembakaran batu bara yang apabila tidak dikelola dan ditangani dengan baik berisiko menimbulkan penyakit terhadap masyarakat di lingkungan sekitar.

Menurut Gatot dan Muji (2003) bahwa salah satu polutan yang merupakan bagian dari polutan partikulat adalah partikulat PM_{10} dan $PM_{2,5}$ dapat mengendap pada saluran pernafasan di daerah bronki dan alveoli sehingga dapat mengakibatkan infeksi saluran pernafasan atas (ISPA). Partikel ini terdiri dari beberapa ukuran dan bentuk yang tersusun dari berbagai macam komponen kimiawi yang berbeda. Ukuran dari partikel ini terdiri dari; $PM_{2,5}$ yaitu polutan partikulat yang memiliki diameter aerodinamis 50% diatas 2,5 μm hingga 50% kurang dari 2,5 μm atau setara dengan 1/30 ukuran diameter rambut manusia yang biasa disebut partikel halus (*Fine Particles*) dan PM_{10} yaitu polutan yang memiliki ukuran diameter aerodinamis 50% diatas 10 μm hingga 50% kurang dari 10 μm atau biasa disebut partikel kasar atau *Coarse Particles* (IAEA, 2007).

Partikel dengan diameter lebih kecil dari 10 μm memiliki kesempatan besar untuk mencapai ke dalam sistem pernafasan dan bagian terdalam paru-paru yang dapat menyebabkan dampak buruk terhadap kesehatan. Partikel ini dihasilkan dari pembakaran dalam jumlah besar, terutama pada mesin pembakaran internal dan kebakaran hutan. Umumnya jenis ini disebut juga inhalable atau thoracic particle

sebagai mana kemampuannya untuk melakukan penetrasi sampai ke kompartemen thoracic (dari trakea sampai ke bawah, termasuk alveoli) dari sistem pernafasan manusia (Balaceanu et al., 2004 dalam Primabudi, 2005).

Polutan partikulat dari pembakaran batubara berpotensi sebagai sumber dari emisi beberapa logam berat ke atmosfer. Logam berat adalah kelompok umum dari logam dan metaloid yang memiliki massa atom lebih besar dari $4g/cm^3$. Beberapa jenis logam berat apabila terpapar pada manusia maka akan meningkatkan risiko terhadap penyakit kanker (Nalbadian, 2012). Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian terhadap estimasi persebaran polutan Partikulat PM_{10} menggunakan Software *AERMOD VIEW*.

Unsur dengan konsentrasi terbesar yaitu krom (Krom) merupakan unsur yang masuk pada moderate concern dimana unsur – unsur ini berpotensi tinggi sebagai zat beracun dan terdapat pada residu pembakaran batubara pada tingkat tinggi. Akumulasi pada makhluk hidup tidak terjadi pencemaran terhadap lingkungan (Nalbanian,2012).

Software *AERMOD View* adalah model dispersi gauss yang berfungsi untuk melihat penyebaran polusi pada daerah pedesaan dan perkotaan, area datar dan medan yang kompleks, permukaan datar dan berelevasi, dan berbagai sumber (termasuk, titik, wilayah dan sumber volume) Cimorelli et al., 2005).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi emisi PM_{10} dan $PM_{2,5}$ PLTU Tanjung Jati B Jepara dan mengkaji estimasi sebaran emisi PM_{10} dari PLTU Tanjung Jati B Jepara menggunakan Software *AERMOD View* , sehingga diketahui sebarannya.

Oleh karena itu manfaat untuk peneliti menambah ilmu pengetahuan, dan untuk masyarakat adalah mengetahui wilayah dan konsentrasi terdampak. Sedangkan untuk pemerintah adalah menjadi masukan untuk tindakan tindak selanjutnya terhadap hasil penelitian ini dengan pengelolaan kualitas lingkungan. Terkhusus untuk PLTU adalah penelitian ini dapat menjadi masukan bagi evaluasi titik pemantauan udara ambien.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTU Tanjung Jati B Jepara, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah pengambilan sampel dilakukan pada empat cerobong PLTU

Metode Pengambilan Sampel dan Analisis

Sampel SPM_{10} diambil menggunakan *Isokinetic Sampler* berdasarkan SNI 7117.17:2009 Tentang Penentuan Kadar Partikulat Secara Isokinetis. Filter yang digunakan adalah dengan jenis kuarsa pengukuran konsentrasi PM_{10} dilakukan dengan analisa gravimetri. Analisis konsentrasi Cr dilakukan berdasarkan metode US EPA IO-3.4 menggunakan ICP-MS.

Pemodelan Sebaran Emisi Partikulat dengan Software AERMOD VIEW

Software AERMOD View adalah model dispersi gauss yang berfungsi untuk melihat penyebaran polusi pada daerah pedesaan dan perkotaan, area datar dan medan yang kompleks, permukaan datar dan berelevasi, dan berbagai sumber (termasuk, titik, wilayah dan sumber volume). Sistem pemodelan AERMOD yang dikembangkan oleh US Environmental Protection Agency merupakan plume model mutakhir yang menggabungkan dispersi udara berbasis struktur turbulensi planetary boundary layer dan profil elevasi muka tanah. Data meteorologi yang diperlukan oleh AERMOD terdiri dari surface profile dan upper air data. AERMOD, melalui program AERMAP, dapat memproses data elevasi tanah dalam format Digital Elevation Model (DEM) (Cimorelli et al., 2005).

Software AERMOD View didasarkan pada dispersi emisi gaussian dimana sumber emisi polutan akan bergerak sebagai plume mengikuti arah angin dan menyebar ke arah samping dan vertikal. Konsentrasi plume akan lebih tinggi di garis tengah plume dan rendah di wilayah tepi plume. Semakin ke tepi semakin rendah (Deputi Bid Tata Lingkungan-KLH, 2007).

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[\exp - \left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \right] \left\{ \exp \left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}$$

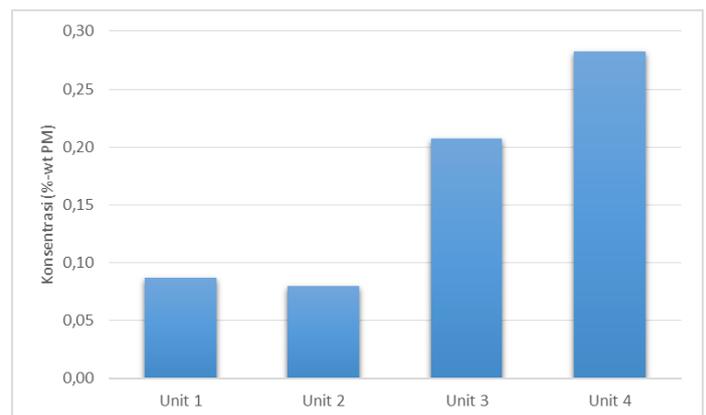
AERMOD menjelaskan tentang ketidakhomogenan secara vertical dari PBL pada penyebarannya, dihitung dengan

menggunakan rata-rata parameter dari PBL sesungguhnya kedalam parameter yang efektif yang setara dengan PBL homogen. Pre-prosesor meteorologinya AERMOD dikenal sebagai AERMET, yang dapat menghitung parameter dari PBL seperti kecepatan gesekan, skala kecepatan konvektif, skala suhu, tinggi pencampuran, aliran panas permukaan dengan menggunakan karakter-karakter permukaan dalam bentuk kekasaran permukaan dan rasio kecoklatan didalam kombinasi dengan pengamatan meteorologi standar (kecepatan angin, arah angin, suhu, dan awan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Emisi Partikulat SPM_{10} dan Cr

Hasil pengukuran rata rata konsentrasi PM_{10} pada unit 1 sebesar 6,58 mg/m³, unit 2 sebesar 6,92 mg/m³, unit 3 sebesar 4,47 mg/m³, dan unit 4 sebesar 7,61 mg/m³. Untuk pengukuran parameter unit 4 baik parameter maupun PM_{10} hanya dilakukan ulangan pengambilan sampel sebanyak dua kali, hal ini dikarenakan adanya kendala teknis saat pengambilan sampel ulangan ketiga. Hasil pengujian Cr menunjukkan bahwa kandungan logam berat Cr terbesar dari berasal dari Unit 4 dan terkecil dari unit 2



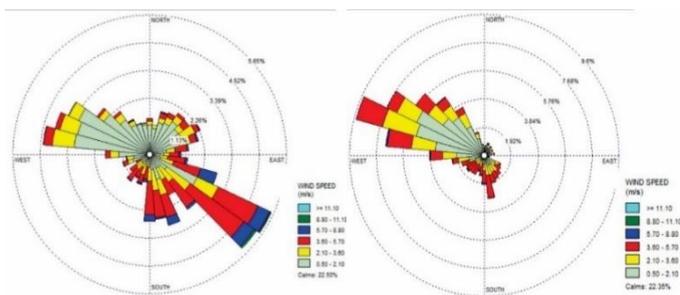
Gambar 1. Trace Element

Kandungan Unsur krom (Krom) yang tinggi dapat disebabkan oleh kontaminasi dari hasil pembakaran batubara dengan evaporasi material stainless steel pada peralatan yang digunakan oleh PLTU (Li, 2017).

Profil Data Meteorologi

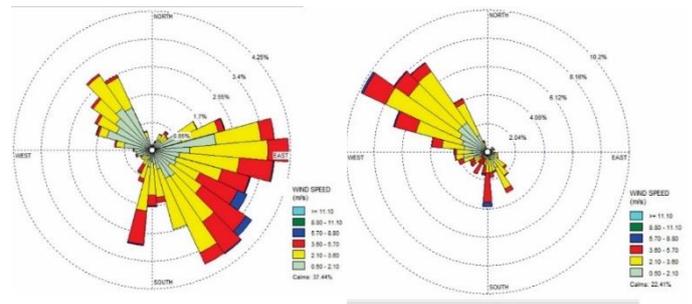
Pada Penelitian ini, Pemodelan sebaran emisi PM₁₀ menggunakan software *AERMOD VIEW*. Agar dapat dilakukan pemodelan, maka dibutuhkan data masukan berupa data meteorologi. Adapun data meteorologi yang diperlukan adalah kecepatan angin, arah angin, suhu, dan awan (Cimorelli et al, 2005). Data meteorologi didapatkan dari Stasiun Meteorologi terdekat dengan lokasi objek penelitian yaitu Stasiun Meteorologi Maritim Kelas II BMKG Semarang. Data yang akan digunakan adalah data kecepatan angin, arah angin, dan suhu permukaan tiap jam selama musim kemarau dan musim hujan pada dua tahun yaitu tahun 2016 dan tahun 2017. Data arah angin dan kecepatan angin divisualisasikan dalam bentuk bunga angin (windrose).

Menurut Laporan Prakiraan Musim Hujan dan Prakiraan Musim Kemarau Tahun 2016 yang dipublikasikan oleh BMKG, wilayah Kabupaten Jepara bagian utara yang masuk pada Zona Musim (ZOM) 128 pada tahun 2016 musim hujannya terjadi pada bulan Januari – April dan bulan November – Desember. Musim kemarau terjadi pada bulan Mei – Oktober.



Gambar 2. Windrose 2016

Pada musim hujan, angin dominan bertiup dari arah tenggara dengan kecepatan tertinggi 5,7 – 8,8 m/s dan kecepatan terendah 0,5 – 2,1 m/s. dalam kurun waktu tertentu angin juga bertiup dari barat laut dengan rentang kecepatan 0,5 – 5,7 m/s. Pada musim kemarau (Gambar 4.5) angin dominan bertiup dari arah barat laut dengan rentang kecepatan tertinggi 3,6-5,7 m/s dan rentang kecepatan terendah 0,5 – 2,1 m/s.



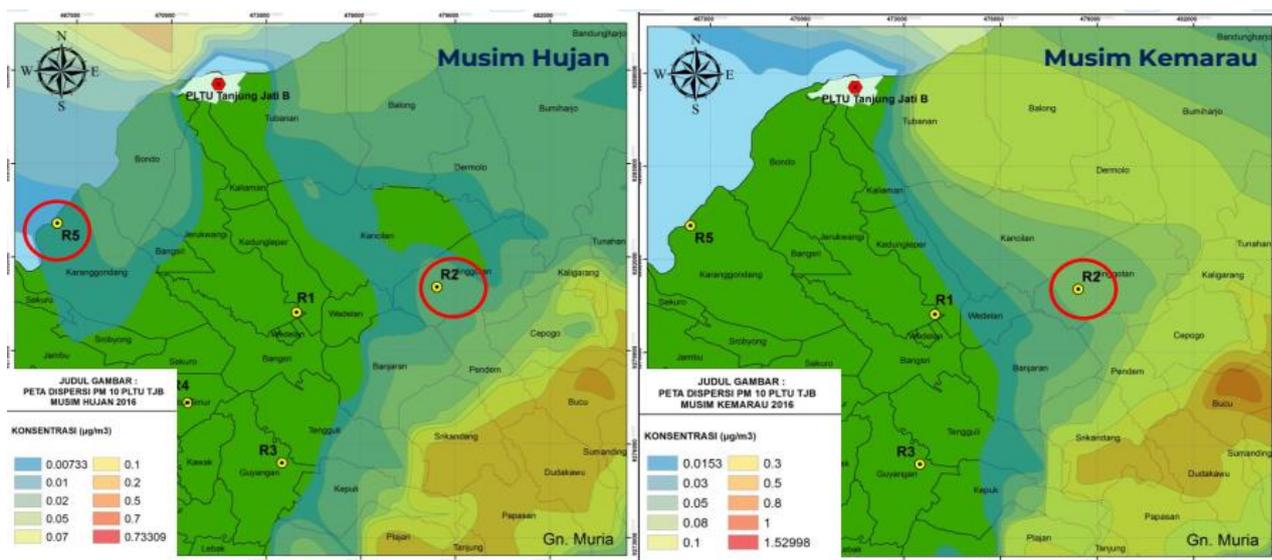
Gambar 3. Windrose 2017.

Profil Topografi Wilayah Sebaran

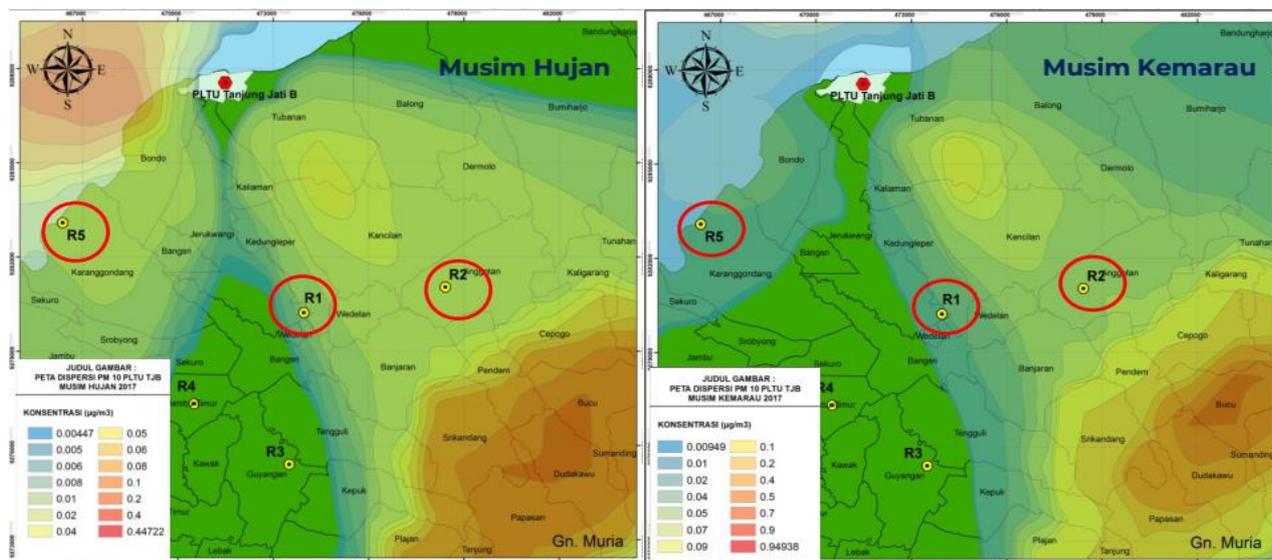
Data topografi yang akan diolah merupakan data elevasi dalam format DEM (Digital Elevation Model). bahwa sumber emisi yaitu PLTU Tanjung Jati B berada pada elevasi 9 mdpl dan berada di bibir pantai desa Tubanan yang langsung berbatasan dengan laut Jawa disebelah utara dan Gunung Muria di sebelah tenggara. Ketinggian elevasi wilayah sebaran emisi berkisar dari 0 mdpl yang merupakan wilayah laut hingga 815 mdpl yang merupakan Gunung Muria.

Hasil Model Sebaran SPM₁₀ dan Krom

Dalam pemodelan persebaran emisi SPM₁₀ dilakukan pemodelan dengan luas wilayah model 20 km dari PLTU, hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan kondisigeografis dari wilayah sebaran model, dimana terdapat gunung Muria yang terletak di sebelah tenggara dari PLTU. Hasil dari model sebaran SPM₁₀ dan Krom disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 4. Hasil Sebaran SPM 10 2016

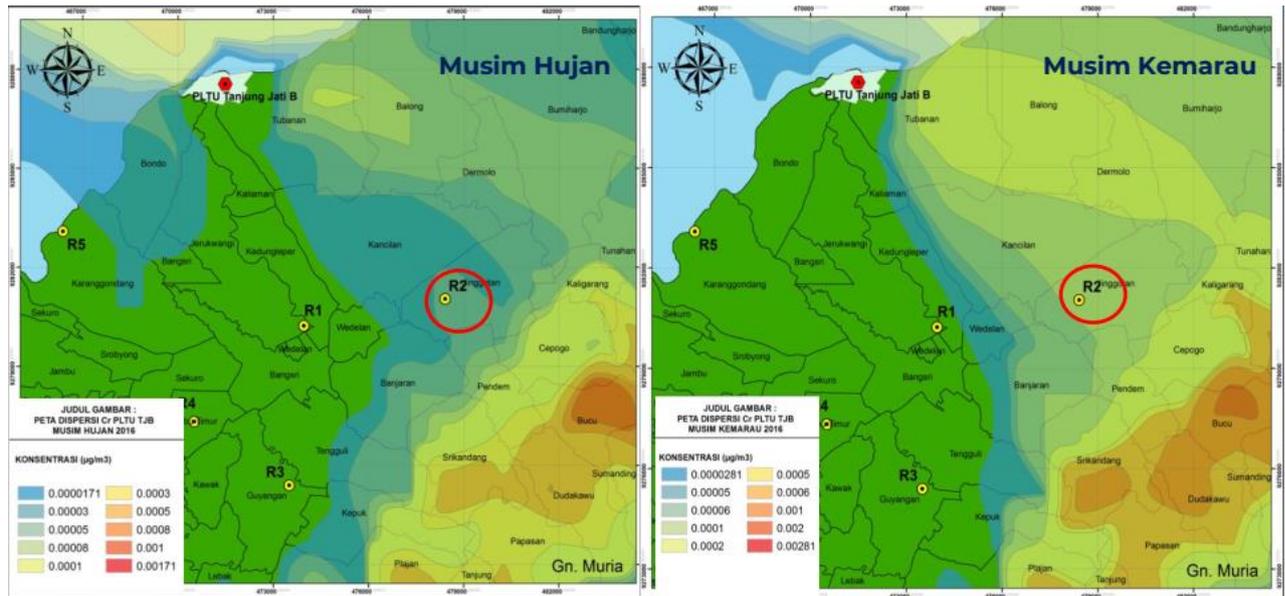


Gambar 5. Hasil Sebaran SPM 10 2017

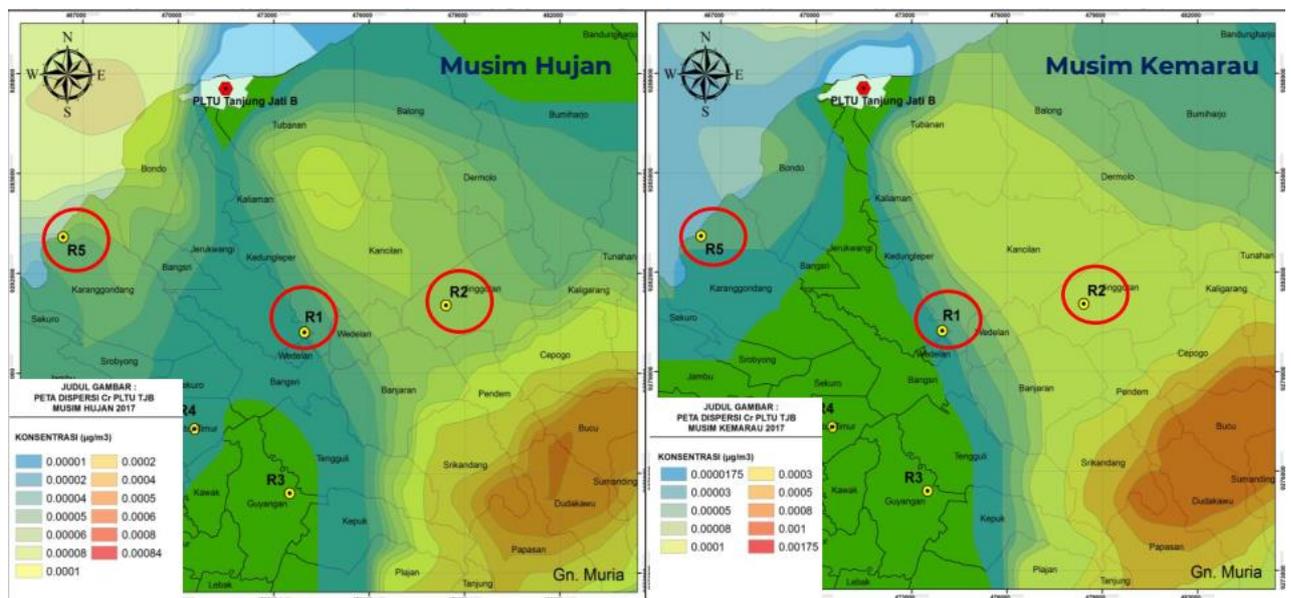
Hasil model penyebaran SPM₁₀ Menunjukkan bahwa pada tahun 2017 pola persebaran SPM₁₀ dari PLTU Tanjung Jati B lebih meluas dibanding tahun. Berdasarkan hasil estimasi sebaran SPM₁₀ menggunakan software AERMOD View, dapat diketahui bahwa selama 2 tahun waktu pemodelan, titik pemantauan atau reseptor yang selalu terpapar SPM₁₀ dari PLTU Tanjung Jati B adalah titik R2 di Kecamatan Kembang dengan konsentrasi terbesar 0,07 µg/m³ pada musim kemarau dan musim hujan. Hal ini diantara lain disebabkan karena sepanjang tahun 2016 dan 2017 angin dominan bertiup dari barat laut (BMKG, 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ma (2013) bahwa alokasi spasial dari SPM₁₀ secara

signifikan dipengaruhi oleh perubahan arah angin dan turbulensi udara. Inilah yang menyebabkan titik R2 yang berada di tenggara dari PLTU Tanjung Jati B senantiasa mendapatkan sebaran emisi SPM₁₀ dari PLTU.

Selain itu karakteristik SPM₁₀ turut membantu dalam persebarannya. berbeda dengan PM_{2,5}, PM₁₀ terutama fraksi partikel kasarnya dapat dengan mudah terdeposit dan biasanya dapat terdispersi dengan jarak berkisar 10 km bergantung pada arah dan kecepatan angin (WHO,2006). Konsentrasi maksimum sebaran SPM₁₀ sepanjang tahun 2016 dan 2017 terletak di Desa Dudakawu dan Desa Bucu. Hal ini disebabkan oleh kondisi topografis dari ketiga desa ini. Desa Dudakawu dan Desa Bucu



Gambar 7. Hasil Sebaran Krom 2016



Gambar 8. Hasil Sebaran Krom 2017

Konsentrasi maksimum pada persebaran Krom sama dengan persebaran PM pada wilayah model terjadi di wilayah Desa Bucu, Desa Sumanding, dan Desa Papasan. Seluruh desa ini terletak di berderetan dari sebelah barat laut lereng Gunung Muria. mekanisme ini sama seperti yang terjadi pada sebaran PM. Karena Krom merupakan bagian dari PM, kecepatan dan arah angin merupakan fasilitator terbesar dalam mekanisme perpindahan PM (Wang, 2017)

Pemodelan sebaran logam Krom dilakukan untuk mengetahui sebaran Krom dari PLTU sebagai langkah untuk mengetahui analisa resiko kesehatan terhadap paparan Krom di

udara ambien terhadap masyarakat Pembakaran batu bara juga sebagai salah satu sumber utama krom di udara. Krom biasanya muncul dalam bentuk trivalen (Krom+3) dan hexavalen (Krom+6) , dari kedua bentuk ini yang berpotensi berbahaya bagi makhluk hidup adalah bentuk hexavalent (Krom+6) (Mokhtar et al, 2014). Bagi manusia Krom+6, dapat menyebabkan iritasi pernafasan, gangguan pada hati dan ginjal dan dengan waktu paparan jangka panjang dapat menyebabkan kanker paru-paru (Szpunar, 1992). Kadar (Krom+6) pada fly ash hasil pembakaran batubara PLTU berkisar 3-5% dari total krom (Shah, 2008).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai Pemodelan Sebaran Emisi Partikulat PM₁₀ dari Cerobong PLTU Tanjung Jati B Jepara maka diketahui konsentrasi Emisi partikulat yang dihasilkan oleh PLTU Tanjung Jati B adalah pada unit 1 sebesar 6,58 mg/m³, unit 2 sebesar 6,92 mg/m³, unit 3 sebesar 4,47 mg/m³, dan unit 4 sebesar 7,61 mg/m³. Unsur logam dengan konsentrasi terbesar yaitu krom dengan konsentrasi berkisar 0,08 – 0,34 % bagi keempat unit. Daerah pemantauan atau reseptor yang senantiasa mendapatkan sebaran emisi PM₁₀ dan Krom adalah R2 di Kecamatan Kembang selama tahun 2016 dan 2017 baik musim kemarau maupun musim hujan dengan konsentrasi tertinggi dan Krom sebesar 0,0003 µg/m³ yang semuanya terjadi pada musim kemarau.

Daerah yang selalu mendapatkan konsentrasi maksimum dari sebaran PM₁₀ dan Krom dari PLTU Tanjung Jati B berdasarkan model adalah Desa Bucu dengan konsentrasi maksimum PM₁₀ sebesar 1,53µg/m³ dan Krom sebesar 0,0028 µg/m³ yang seluruhnya terjadi di musim kemarau.

SARAN

Penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan untuk evaluasi penempatan titik pemantauan udara ambien terhadap daerah terdampak PLTU. Selain itu, pemerintah Republik Indonesia perlu mengkaji lebih lanjut mengenai regulasi terhadap baku mutu emisi untuk parameter PM₁₀ dan Logam berat

Untuk masyarakat, penelitian ini dapat menambah pengetahuan mengenai wilayah terdampak emisi partikulat PM₁₀ PLTU Dan sebagai penelitian perintis mengenai sebaran Emisi Partikulat PM₁₀ dan dari PLTU berbahan bakar batu bara di Indonesia, maka dapat dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap risiko kesehatan terhadap masyarakat terdampak.

REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Standar Nasional Indonesia 7119.15 :2016 tentang Cara Uji Partikel Dengan Ukuran < 10 µm (PM₁₀) Menggunakan Peraltan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan Metode Gravimetri*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia : Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. 2009. *Standar Nasional Indonesia 7117.17 :2009 tentang*

Emisi Gas Buang – Sumber Tidak Bergerak - Penentuan Kadar Partikulat Gas Buang Secara Isokinetik. Badan Standardisasi Nasional Indonesia : Jakarta

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2016. *Laporan Prakiraan Musim Kemarau 2016*. BMKG : Jakarta

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2016. *Laporan Prakiraan Musim Hujan 2016/2017*. BMKG : Jakarta

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2017. *Laporan Prakiraan Musim Kemarau 2017*. BMKG : Jakarta

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2017. *Laporan Prakiraan Musim Hujan 2017/2018*. BMKG : Jakarta

Balaceanu C., Stefan S. 2004. *The Assessment of the TSP Particulate Matter In the Urban Ambient Air*. Romanian Reports in Physics, 564 : 757-768

Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., ... Brode, R. W. 2005. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 682–693. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>

Egan, Bruce A. Francis A. Schiermeier, 1983 : *Dispersion in Complex Terrain : A Summary of the AMS Workshop held in Keystone Colorado, 17-20 May 1983*, Bulletin American Meteorological Society, AMS: Boston

Gatot Suhariyono dan Muji Wiyono. 2003. *Distribusi Partikel Debu PM 10 dan PM 2,5 Dalam Udara Sekitar Kawasan Pabrik Semen Citeureup Bogor*. Jurnal Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi pada Industri Non-Nuklir Jakarta 18 Maret 2003

International Atomic Energy Agency. 2007. *IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection*. IAEA : Vienna

Kementerian Lingkungan Hidup Deputi Bidang Tata Lingkungan Tahun 2007

Kementrian Lingkungan Hidup. 2008. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2008 Tentang Baku Mutu Emisi Sumer Tidak Bergerak Bagi Usaha/Kegiatan Pembangkit Listrik Termal*. Jakarta

- Ma, J., Yi, H., Tang, X., Zhang, Y., Xiang, Y., & Pu, L. 2013. Application of AERMOD on near future air quality simulation under the latest national emission control policy of China: A case study on an industrial city. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 25(8), 1608–1617. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60245-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60245-9)
- Mokhtar, M. 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. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.05.008>
<https://doi.org/10.1016/j.jsm.2017.12.007>
- Pemerintah Daerah Jawa Tengah .2001. *Surat Keputusan Gubernur Jawa Tengah No 8 Tentang Baku Mutu Udara Ambien*, Semarang.
- Primabudi, Eko. 2005. *Studi Kontribusi PM10 Terhadap Udara Ambien Dengan Model Reseptor : Chemical Mass Balance (Studi Kasus: Wilayah Pedurungan Semarang)*. Universitas Diponegoro : Semarang
- Shah, P., Strezov, V., Prince, K., & Nelson, P. F. 2008. Speciation of As, Krom, Se and Hg under coal fired power station conditions. *Fuel*, 87(10-11), 1859–1869. [doi:10.1016/j.fuel.2007.12.001](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.12.001)
- Szpunar, C.B, 1992. *Air Toxic Emissions from Combustion of Coal : Identifying and Quantifying Hazardous Air Pollutants from U.S. Coal*. Aegonne National Laboratory, 9700 South Cas Avenue : Illinois
- U.S. EPA. 1999. "IO Compendium Method IO-3.4: Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air: Determination of Metals in Ambient Particulate Matter Using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy." *EPA/625/R-96/010a*. Cincinnati, OH.
- Wang, Jianjun., Meigen Zhang, Xiaolin Bai. (2017). Large-scale transport of PM2.5 in the lower troposphere during winter cold surges in China. *Scientific RepoRts* 7: 13238 October 2017 [DOI:10.1038/s41598-017-13217-2](https://doi.org/10.1038/s41598-017-13217-2)
- WHO. 2006. *Health Risks of Particulate Matter from Long-range Transboundary Air Pollution*. WHO Regional Office for Europe : Copenhagen