

Analisis Sebaran Beban Partikulat secara Keruangan dari Industri Semen di Kabupaten Tuban

Dispersion Analysis of Particulate Load from Cement Industry in Tuban Regency by Using Spatial Aproach

Etty Yhulliansih¹, Alexander Tunggul Sutan Haji^{2*}, Bambang Rahadi Widiatmono²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang

²Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang

*Email Korespondensi: alexandersutan@ub.ac.id

ABSTRAK

Pesatnya pembangunan mengakibatkan peningkatan kebutuhan bahan baku material. Salah satunya yaitu semen. Industri semen menimbulkan pencemaran udara berupa partikulat yang berasal dari cerobong. Sebaran partikulat sulit untuk diketahui hanya saja dalam jangka panjang dapat membahayakan manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sebaran beban partikulat secara keruangan yang berasal dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk di Kabupaten Tuban. Penelitian ini menggunakan analisis spasial dan metode deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan konsentrasi partikulat dengan pemodelan *gaussian point source* dan analisis spasial digunakan untuk mengetahui sebaran beban partikulat di Kabupaten Tuban melalui pemetaan. Proses analisis spasial menggunakan *software Arcview 3.3*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran partikulat terbesar terletak pada jarak terdekat dengan cerobong dan daerah yang terletak di garis lurus titik cerobong sesuai arah angin. Konsentrasi rata-rata sebaran partikulat masing-masing Kecamatan yaitu Kerek 156.839 $\mu\text{g m}^{-3}$, Montong 9.65 $\mu\text{g m}^{-3}$, Bangilan 3.164 $\mu\text{g m}^{-3}$, Kenduruan 2.225 $\mu\text{g m}^{-3}$, Jatirogo 0.607 $\mu\text{g m}^{-3}$, Tambakboyo 0.282 $\mu\text{g m}^{-3}$, Kecamatan Soko 0.057 $\mu\text{g m}^{-3}$, Singgahan 0.022 $\mu\text{g m}^{-3}$, Bancar 0.013 $\mu\text{g m}^{-3}$, Parengan 0.009 $\mu\text{g m}^{-3}$, Senori 0.004 $\mu\text{g m}^{-3}$, dan Kecamatan yang tidak dilalui arah angin konsentrasinya adalah 0 $\mu\text{g m}^{-3}$, yaitu Kecamatan Jenu, Merakurak, Grabagan, Rengel, Semanding, Tuban, Plumpang, Palang dan Widang. Konsentrasi partikulat masih dibawah baku mutu.

Kata kunci : Analisis spasial, cerobong, partikulat, sebaran

Abstract

The Development cause rapidly increasing of material basic demand necessary. The example is cement. Cement Industry emitted air pollution mainly particulate from the stacks. Particulate dispersion is difficult to be known, but its able to endanger human. The purpose of this research was to analyse particulate dispersion from Semen Indonesia factory in Tuban Regency. The research used spatial analysis and descriptive quantitative method. Descriptive quantitative method is used to describe particulate concentration with gaussian point source model and spatial analysis is used to know dispersion of particulate load by mapping in Tuban Regency. The result of research is widest particulate dispersion from nearest distance from stack are mostly area in the straight line from stack according to wind direction. Average concentration of particulate dispersion in every subdistricts are 156.83 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Kerek, 9.65 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Montong, 3.16 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Bangilan, 2.22 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Kenduruan, 0.607 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Jatirogo, 0.282 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Tambakboyo, 0.057 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Soko, 0.022 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Singgahan, 0.013 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Bancar, 0.009 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Parengan, 0.004 $\mu\text{g m}^{-3}$ at Senori. The subdistrict that was not passed by wind direction have concentration value is 0. The Particulate concentration result from the industry is still under the quality standard limit.

Keywords : Spatial analysis, stack, particulate, dispersion

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan peningkatan akan kebutuhan bahan baku material. Bahan baku material yang tidak bisa ditinggalkan salah satunya adalah semen. Pembangunan pabrik bahan baku material telah tersebar merata di seluruh Indonesia, khususnya di Kabupaten Tuban. Salah satu industri semen terbesar di Tuban yaitu PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Menurut Kartikasari (2007), semen merupakan salah satu bahan utama konstruksi sipil. Produksi semen Indonesia disamping untuk memenuhi kebutuhan semen dalam negeri, juga untuk memenuhi permintaan dari luar negeri. Permintaan semen yang terus meningkat harus dapat diantisipasi oleh kalangan industri semen seiring dengan terus meningkatnya biaya produksi akibat kenaikan tarif dasar listrik dan harga bahan bakar minyak di dalam negeri yang tidak sebanding dengan kenaikan harga jual semen di pasaran.

Pabrik semen adalah industri yang sebagian besar produksinya berupa pengecilan ukuran material (*size reduction*) dan pembakaran (*pyroprocessing*) sehingga pencemaran terhadap lingkungan yang paling menonjol adalah emisi partikel debu ke udara, baik yang berasal dari emisi peralatan dan aktivitas industri sendiri maupun dari kegiatan transportasi (Gertrudis, 2010). Menurut PP No. 41 Tahun 1999, udara sebagai sumber daya alam yang mempengaruhi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya harus dijaga dan dipelihara kelestarian fungsinya untuk pemeliharaan kesehatan dan kesejahteraan manusia serta perlindungan bagi makhluk hidup lainnya. Udara bermanfaat sebesar-besarnya bagi pelestarian fungsi lingkungan hidup, maka perlu dipelihara, dijaga dan dijamin mutunya melalui pengendalian pencemaran udara.

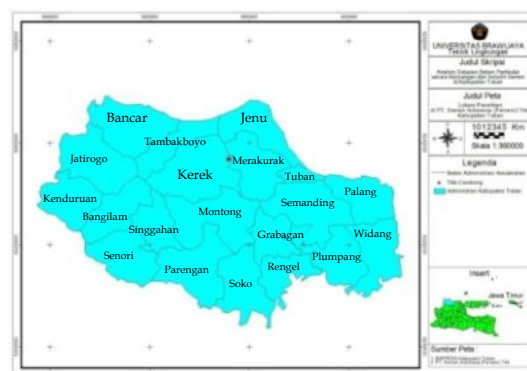
Dampak pencemaran udara, khususnya partikulat dapat meningkatkan tingkat kematian dengan pencemaran partikulat di atas batas normal. Selain itu, dapat mengganggu kemampuan tumbuhan untuk menyerap karbondioksida dan melepaskan uap air karena pengendapan debu. Sebaran partikulat sulit untuk diketahui atau dilihat oleh mata secara normal sehingga dalam

jangka panjang dapat membahayakan manusia. Oleh sebab itu, disajikan analisis sebaran beban partikulat secara keruangan yang berasal dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk di Kabupaten Tuban dengan menggunakan *Gaussian Model* tipe *point source* dan analisis secara spasial. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui konsentrasi pencemaran partikulat dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk di Kabupaten Tuban dengan teknologi spasial.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan November 2015 sampai dengan bulan Desember 2015. Tempat penelitian dilakukan di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Letak astronomi Kabupaten Tuban pada koordinat $111^{\circ} 30' - 112^{\circ} 35' BT$ dan $6^{\circ} 40' - 7^{\circ} 18' LS$.

Kabupaten Tuban mempunyai luas wilayah sebesar 1,904.70 Km² dan jumlah penduduk sekitar 1.2 juta jiwa. Pembagian administratif di Kabupaten Tuban terdiri dari 20 Kecamatan yang meliputi Kecamatan Bancar, Bangilan, Grabagan, Jatirogo, Jenu, Kenduruan, Kerek, Merakurak, Montong, Palang, Parengan, Plumpang, Rengel, Semanding, Senori, Singgahan, Soko, Tambakboyo, Widang dan Kecamatan Tuban. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta administrasi Kabupaten Tuban

Pelaksanaan penelitian ini menggunakan bahan berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder yaitu data statistik dan data peta, dan data primer yaitu data titik koordinat masing-masing

cerobong dan data arah angin. Data-data tersebut diolah menggunakan alat berupa teknologi spasial dengan *software* ArcView 3.3.

Alat

Penelitian ini digunakan analisis spasial. Alat yang digunakan untuk proses analisis spasial berupa *software* ArcView 3.3. *Software* ini merupakan aplikasi yang berfungsi untuk menampilkan, memanipulasi dan mengubah data Sistem Informasi Geografi (SIG). Pengolahan data melalui proses *Geoprocessing* yang didapatkan hasil berupa pemetaan sebaran beban partikulat yang berasal dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk di Kabupaten Tuban. Selain itu untuk mengetahui arah angin di lokasi penelitian digunakan kompas sebagai penunjuk arah angin.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data yang sekaligus dijadikan sebagai parameter yang diamati. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peta administrasi Kabupaten Tuban yang diperoleh dari BAPPEDA Kabupaten Tuban, data-data properti industri PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yang diperoleh dari perusahaan tersebut, data titik koordinat masing-masing cerobong yang diperoleh dari perusahaan dan juga pengukuran secara langsung, serta data arah angin

Tahapan Penelitian

1. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data sekunder dari instansi pemerintah dan industri serta data primer. Tahapan-tahapan tersebut yaitu pertama dilakukan pengamatan langsung dengan cara survey di lapangan yang terdiri dari meninjau, mengamati dan memahami hal-hal yang mempengaruhi terjadinya polusi dan penurunan kualitas udara akibat kegiatan industri.

Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengukuran secara langsung di lokasi. Data primer tersebut yaitu data arah angin di lokasi penelitian yang diukur dengan menggunakan kompas sebagai alat

penunjuk arah angin dan pengukuran data titik koordinat masing-masing cerobong.

Pengumpulan data sekunder berkaitan dengan instansi-instansi pemerintah, yang meliputi peta administrasi Kabupaten Tuban dari BAPPEDA Kabupaten Tuban. Data sekunder dari industri yakni PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yaitu peta titik cerobong (data koordinat cerobong), tinggi cerobong (h), diameter cerobong (d), kecepatan alir gas buang di cerobong (Vt), data kecepatan angin pada ketinggian cerobong, data pemakaian bahan bakar, tekanan udara (Pa), temperatur cerobong (Ts), dan temperatur udara (Ta).

Tahap selanjutnya yaitu studi literatur dengan mencari data dari sumber berupa buku, jurnal, internet, laporan atau tulisan ilmiah lainnya sebagai sumber pengetahuan selama penelitian berlangsung.

2. Pengolahan Data

Pengolahan data melalui perhitungan model *gaussian point source* dan analisis spasial menggunakan *software* Arcview 3.3. Berikut ini merupakan tahapan dan metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian.

a. Perhitungan Konsentrasi Partikulat

Model matematik yang digunakan untuk perhitungan sebaran beban partikulat adalah dengan menggunakan *Gaussian Model* tipe *point source* (sumber tidak bergerak). Penggunaan model tersebut dapat mempermudah penerapan dibandingkan dengan melakukan pengukuran. Selain itu, dari segi waktu dan biaya akan lebih efisien. Berikut ini merupakan persamaan *Gaussian Model* tipe *point source* (Cooper, 2002).

$$C_{x,y,0} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1)$$

$C_{x,y,0}$ merupakan konsentrasi polutan udara dalam massa per volume ($\mu\text{g m}^{-3}$), u sebagai rata-rata kecepatan angin pada ketinggian efektif cerobong (m s^{-1}), σ_y sebagai koefisien dispersi secara vertikal terhadap sumbu x (m), σ_z sebagai koefisien dispersi secara horizontal terhadap sumbu x (m) dan Q sebagai laju emisi polutan dalam massa per

waktu ($\mu\text{g s}^{-1}$), Q sebagai konstanta matematika dengan nilai 3.14, H sebagai tinggi efektif cerobong (*stack*) di pusat kepulan (m), x sebagai jarak arah *downwind* (m), y sebagai jarak horizontal dari garis tengah cerobong (m)

$$Q = FE \times \text{Pemakaian Bahan Bakar} \quad (2)$$

$$Q = FE \times \text{Pemakaian Bahan Bakar} \quad (3)$$

H sebagai tinggi efektif cerobong (m), h sebagai tinggi fisik cerobong (m), d sebagai diameter dalam cerobong (m), P sebagai tekanan atmosfer (mbar), T_s sebagai temperatur dalam cerobong (K), T_a sebagai temperatur atmosfer (K), V_s sebagai kecepatan gas di dalam cerobong (m s^{-1}) dan FE sebagai faktor emisi

Tabel 1. Faktor emisi untuk pembakaran batu bara

Tipe	PM _{2.5}	Coarse	PM ₁	>PM ₁₀	TSP
Pembakaran kecil	-	-	0.11	-	0.27
Pembakaran domestik	-	-	0.09	-	0.15
Pembakaran industri	-	-	0.04	-	0.05

Sumber : Buwal, 2001

Menurut Nauli (2002), σ_y dan σ_z menyatakan deviasi standar dari distribusi Gauss dalam arah horizontal dan vertikal. Tetapan dispersi horizontal dan vertikal dinyatakan sebagai berikut,

$$\sigma_y = ax^{0.894} \quad (4)$$

$$\sigma_z = cx^d + f \quad (5)$$

dimana tetapan a , c , d dan f bervariasi pada setiap klasifikasi atmosfer, seperti yang diberikan pada Tabel 4.6. Jarak x dinyatakan dalam kilometer untuk menghasilkan σ_y dan σ_z dalam meter.

Tabel 2. Nilai tetapan a , c , d dan f untuk persamaan (4) dan (5)

Kestabilan	a	$x \leq 1 \text{ Km}$				$x \geq 1 \text{ Km}$			
		c	d	f	C	D	E	F	F
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6		
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0		
C	104	61.0	0.911	0	61.0	0.911	0		
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0		
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0		
F	34	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6		

Sumber: Nauli, 2002

Tabel 3. Klasifikasi kestabilan atmosfer

Kecepatan angin permukaan (m/det) ^a	Siang hari dengan pancaran sinar matahari :			Malam hari dengan derajat awan ^b :	
	Kuat ^c	Sedang ^c	Lemah ^c	Banyak (≥ 4/8)	Bersih (≤ 3/8)
<2	A	A-B ^d	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: Nauli, 2002

^aKecepatan angin permukaan diukur pada 10 m di atas permukaan tanah, ^bHari cerah di musim panas dengan kedudukan matahari lebih besar dari 60° di atas horizon. ^cMusim panas dengan sedikit awan patah-patah, atau hari cerah dengan kedudukan matahari 35° - 60° di atas horizon, ^dSore hari, atau mendung di musim panas, atau hari cerah dengan kedudukan matahari 15° - 35° di atas horizon, ^eDerajat awan didefinisikan sebagai besarnya fraksi langit tertutupi awan, ^fKondisi A - B, B - C, atau C - D, merupakan rata-rata dari keduanya.

A menunjukkan sangat tidak stabil, B menunjukkan cukup tidak stabil, C menunjukkan sedikit tidak stabil, D menunjukkan netral (bagaimanapun kecepatan angin, kelas D harus dipilih apabila keadaan mendung, baik siang maupun malam), E menunjukkan sedikit stabil dan F menunjukkan stabil.

b. Konversi Data Titik Sebaran

Data 24 titik koordinat cerobong PT Semen Indonesia (Persero) Tbk diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Proses pengolahan data tersebut yaitu untuk memperoleh hasil rotasi titik sebaran dari kondisi koordinat X normal ke koordinat X arah angin. Koordinat X normal adalah kondisi dimana koordinat X menunjukkan arah timur dan koordinat Y menunjukkan arah utara. Tahap konversi bertujuan untuk menghasilkan titik sebaran yang sesuai arah angin.

c. Entry Data

Tahap *entry data* dilakukan langsung pada data atribut objek kerja *software Arcview*. Tujuan *entry data* adalah untuk bahan informasi yang selanjutnya diolah secara spasial bersama dengan data spasial (peta), yaitu peta administrasi Kabupaten Tuban. Pada tahap ini data yang dimasukkan adalah data titik sebaran dan data hasil perhitungan konsentrasi partikulat. Kemudian, tahap selanjutnya didapatkan

data sebaran beban partikulat melalui akuisisi dari input data-data tersebut.

d. *Gridding dan Conture*

Proses *gridding* adalah pengkonversian data vektor menjadi *raster* atau *pixel* wilayah menjadi bentuk ukuran *pixel* dengan ukuran (skala) yang sama. Sebelum proses *gridding* terlebih dahulu dilakukan proses *tin* pada peta tersebut. Proses *gridding* dilakukan pada peta masing-masing titik cerobong. Proses *conture* dilakukan setelah *gridding* dengan tujuan untuk mengetahui bentuk kontur dari sebaran partikulat di Kabupaten Tuban.

e. *Map Calculation*

Peta digital yang berjumlah 24 cerobong setelah melalui proses *gridding* dijadikan bahan untuk proses *map calculation*. Proses ini bertujuan untuk menjumlahkan emisi partikulat dari 24 cerobong yang kemudian ditampilkan sebaran secara keseluruhan ke dalam peta. *Map calculation* dapat disebut juga sebagai perhitungan atau kalkulasi secara spasial.

3. Pengamatan dan Analisis Data

Pada penelitian ini dilakukan analisis data setelah data sekunder dan data primer yang diperlukan dalam penelitian terkumpul. Data sekunder tersebut meliputi peta administrasi Kabupaten Tuban dalam bentuk poligon, peta titik cerobong dalam bentuk titik dan properti industri. Sedangkan, data primer berupa data arah angin saat penelitian berlangsung. Selanjutnya, data-data tersebut diproses dengan menggunakan rumus matematik *Gaussian model tipe point source* untuk perhitungan sebaran beban partikulat akibat dari kegiatan di industri yang dikeluarkan melalui cerobong (*stack*) PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.

Perhitungan dalam penelitian ini dilakukan dengan metode analisis spasial menggunakan *software Arcview 3.3*. Berdasarkan hasil perhitungan matematis dan analisis spasial dihasilkan peta sebaran beban partikulat dari industri semen di Kabupaten Tuban. Analisis tersebut dapat dijadikan sebagai rekomendasi hasil dari penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Pencemaran Partikulat di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk

Peta sebaran beban partikulat dari cerobong (*stack*) PT Semen Indonesia (Persero) Tbk didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan *Gaussian Point Source*. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan dari tiap-tiap jarak 1 Km sesuai arah angin, yaitu menunjukkan ke arah barat daya saat dilakukan penelitian yang tepatnya pada siang hari. Pemetaan sebaran partikulat dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk dilakukan pada masing-masing cerobong. Perusahaan memiliki 24 cerobong yang tersebar merata di seluruh area pabrik.

Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi partikulat diantaranya laju emisi polutan (Q), tinggi efektif cerobong (H), kecepatan angin di cerobong (u), tinggi cerobong (h), tinggi kepulan (ΔH), kecepatan asap dari cerobong (V_s), diameter dalam cerobong (d), laju emisi polutan (Q), temperatur cerobong (T_s), temperatur udara (T_a), tekanan udara (M_b), arah angin, koefisien dispersi horizontal, koefisien dispersi vertikal dan stabilitas atmosfer. Stabilitas atmosfer di Kabupaten Tuban termasuk dalam kelas B, artinya keadaan atmosfer di wilayah tersebut cukup tidak stabil.

Perhitungan konsentrasi dilakukan sampai jarak 27 Km sesuai arah angin dari pusat cerobong. Jarak 27 Km tersebut sudah secara keseluruhan batas administrasi Kabupaten Tuban. Nilai konsentrasi tertinggi terletak pada titik koordinat 0,0 atau jarak paling dekat dari cerobong dan nilai terendah konsentrasi terletak pada titik koordinat terjauh dari cerobong.

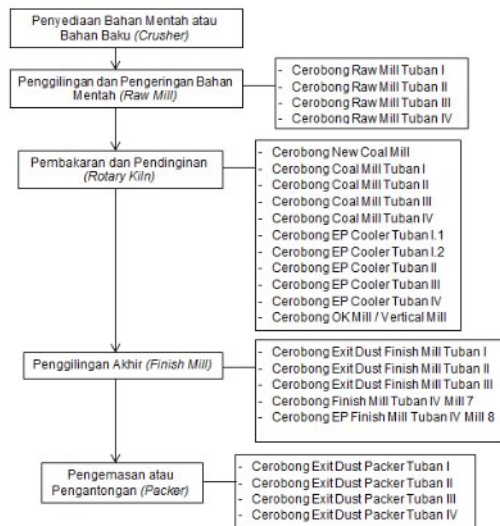
Analisis Spasial Beban Pencemaran Partikulat

Proses analisis spasial dilakukan setelah hasil perhitungan konsentrasi partikulat didapatkan dengan persamaan *Gaussian Point Source*. Analisis spasial membutuhkan *input* berupa nilai konsentrasi partikulat dan titik koordinat masing-masing cerobong yang sudah dirotasi dari x normal ke x arah angin, kemudian di *gridding* dengan peta

administrasi Kabupaten Tuban. Berikut ini merupakan proses-proses analisis spasial beban pencemaran partikulat.

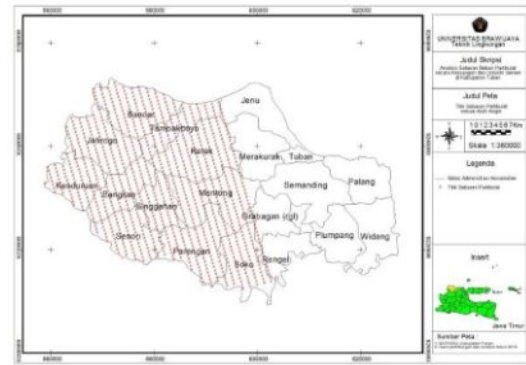
1. Analisis Spasial Masing-masing Cerobong

Cerobong di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk berjumlah 24. Masing-masing cerobong tersebut berada pada tiap unit proses produksi yang dimulai dari *Crusher*, *Raw Mill*, *Rotary Kiln*, *Finish Mill* dan *Packer*. Untuk mengetahui konsentrasi total dari seluruh cerobong maka dilakukan perhitungan pada masing-masing cerobong. Alur proses produksi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur proses produksi

Data titik koordinat 24 cerobong dimasukkan ke dalam peta letak administrasi Kabupaten Tuban. Proses tersebut bertujuan untuk menghasilkan atau menampilkan peta lokasi penelitian sebaran partikulat di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yang tepatnya berada di Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban. Berikut ini merupakan peta titik sebaran partikulat yang sudah dirotasi koordinat X,Y sesuai arah angin yaitu ke barat daya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta titik sebaran partikulat

Hasil rotasi kemudian di *Clip* dengan peta administrasi Kabupaten Tuban sehingga didapatkan peta titik sebaran partikulat dari cerobong PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Proses tersebut dilakukan pada masing-masing cerobong.

Peta titik sebaran partikulat kemudian diolah dengan proses *tin* dan *gridding* di *software Arcview 3.3* yang bertujuan untuk menampilkan hasil sebaran partikulat dari masing-masing cerobong. Proses *tin* dan *gridding* tersebut menampilkan sebaran partikulat berdasarkan *range* nilai tertentu. *Range* nilai dimulai dari 0 yang divisualisasikan dengan warna putih yang artinya sebaran di Kecamatan tersebut bernilai 0. *Range* selanjutnya yaitu antara 0 – 0.00005 $\mu\text{g m}^{-3}$ dan seterusnya hingga nilai sebaran partikulat tertinggi. Hasil analisis spasial untuk 24 cerobong nilai konsentrasi partikulatnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Nilai konsentrasi partikulat masing-masing cerobong pada tabel 4.10 digambarkan dalam bentuk pemetaan atau analisis spasial agar lebih mudah diketahui bentuk sebaran partikulat dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk di Kabupaten Tuban.

Tabel 4. Nilai konsentrasi partikulat dari hasil analisis spasial

No	Cerobong	Konsentrasi tertinggi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsentrasi terendah ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Raw Mill Tuban I	100 – 150	0 – 0.0005
2	Raw Mill Tuban II	100 – 150	0 – 0.0005
3	Raw Mill Tuban III	100 – 150	0 – 0.0005
4	Raw Mill Tuban IV	50 – 100	0 – 0.0005
5	New Coal Mill	200 – 500	0 – 0.0005
6	Coal Mill Tuban I	200 – 500	0 – 0.0005
7	Coal Mill Tuban II	200 – 500	0 – 0.0005
8	Coal Mill Tuban III	200 – 500	0 – 0.0005
9	Coal Mill Tuban IV	150 – 500	0 – 0.0005
10	EP Cooler Tuban I.1	100 – 300	0 – 0.0005
11	EP Cooler Tuban I.2	100 – 300	0 – 0.0005
12	EP Cooler Tuban II	100 – 400	0 – 0.0005
13	EP Cooler Tuban III	100 – 300	0 – 0.0005
14	EP Cooler Tuban IV	100 – 300	0 – 0.0005
15	OK Mill / Vertical Mill	150 – 277	0 – 0.0005
16	Exit Dust Finish Mill Tuban I	200 – 423	0 – 0.0005
17	Exit Dust Finish Mill Tuban II	200 – 421	0 – 0.0005
18	Exit Dust Finish Mill Tuban III	200 – 401	0 – 0.0005
19	Finish Mill Tuban IV Mill 7	150 – 321	0 – 0.0005
20	EP Finish Mill Tuban IV Mill 8	150 – 341	0 – 0.0005
21	Exit Dust Packer Tuban I	300 – 602	0 – 0.0005
22	Exit Dust Packer Tuban II	300 – 601	0 – 0.0005
23	Exit Dust Packer Tuban III	200 – 466	0 – 0.0005
24	Exit Dust Packer Tuban IV	200 – 501	0 – 0.0005

Sumber: Hasil pengolahan data, 2016

2. Hasil Analisis Spasial Seluruh Cerobong
Hasil analisis konsentrasi partikulat masing-masing cerobong kemudian di dijumlahkan atau *map calculation*. Hasil *map calculation* seluruh cerobong tersebut didapatkan nilai konsentrasi total sebaran beban partikulat dari cerobong PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.

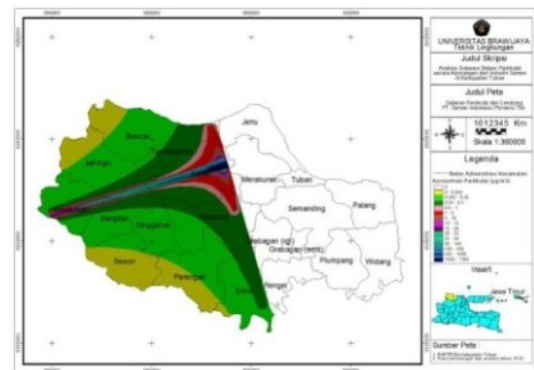
Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa konsentrasi partikulat tertinggi terdapat pada daerah yang terletak secara garis lurus dengan titik cerobong dan jarak terdekat dengan cerobong, sedangkan konsentrasi terendah terletak pada jarak terjauh dari cerobong sesuai arah angin. Berikut ini merupakan tabel nilai konsentrasi partikulat pada masing-masing Kecamatan di Kabupaten Tuban dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai konsentrasi partikulat masing-masing Kecamatan

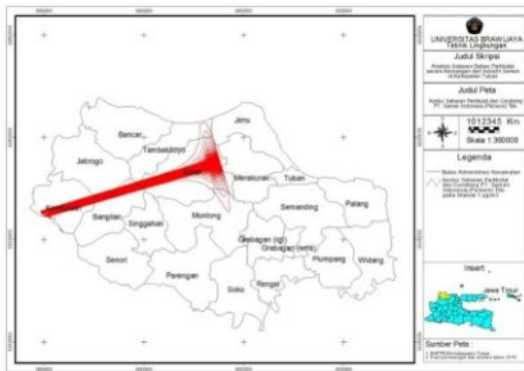
No.	Kecamatan	Nilai konsentrasi partikulat ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Kerek	0.05 – 7300
2	Tambakboyo	0.005 – 5
3	Montong	0.005 – 5
4	Soko	0 – 0.5
5	Bancar	0 – 0.5
6	Jatirogo	0 – 25
7	Bangilan	0.005 – 50
8	Parengan	0 – 0.1
9	Senori	0 – 0.05
10	Kenduruan	0.005 – 25
11	Jenu	0
12	Merakurak	0
13	Tuban	0
14	Semanding	0
15	Palang	0
16	Grabagan	0
17	Plumpang	0
18	Widang	0
19	Rengel	0

Sumber: Hasil pengolahan data, 2016

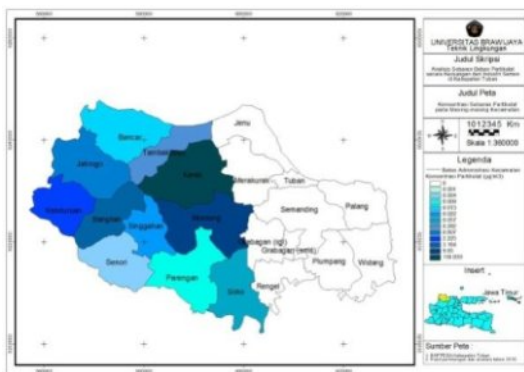
Berdasarkan Tabel 5 nilai konsentrasi partikulat pada masing-masing Kecamatan tidak sama karena dipengaruhi oleh jarak dari sumber pencemar. Kecamatan yang tidak dilalui arah angin nilai konsentrasi partikulatnya adalah 0. Berikut ini merupakan peta konsentrasi total sebaran beban partikulat dapat dilihat pada Gambar 3, peta kontur sebaran partikulat pada Gambar 4 dan peta nilai rata-rata sebaran beban partikulat pada masing-masing Kecamatan pada Gambar 5.



Gambar 3. Peta sebaran beban partikulat dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk



Gambar 4. Peta kontur sebaran beban partikulat dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk



Gambar 5. Peta nilai rata-rata sebaran beban partikulat pada masing-masing Kecamatan

3. Dampak Industri Semen pada Masing masing Kecamatan di Kabupaten Tuban PT Semen Indonesia (Persero) Tbk terletak di Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban. Kegiatan industri memiliki dampak negatif terhadap daerah-daerah di sekitar. Di Kabupaten Tuban terdapat 20 Kecamatan dengan luasan yang berbeda sehingga sebaran partikulat yang diterima oleh masing-masing Kecamatan juga berbeda dan tergantung jarak dari sumber polutan serta arah angin. Nilai rata-rata sebaran partikulat pada masing-masing Kecamatan pada Gambar 5 setelah di kalkulasi dan dihomogenkan dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Nilai rata-rata sebaran partikulat pada masing-masing Kecamatan

No.	Kecamatan	Nilai rata-rata konsentrasi partikulat ($\mu\text{g m}^{-3}$)
1	Kerek	156.839
2	Tambakboyo	0.282
3	Montong	9.65
4	Soko	0.057
5	Bancar	0.013
6	Jatirogo	0.607
7	Bangilan	3.164
8	Parengan	0.009
9	Senori	0.004
10	Kenduruan	2.225
11	Jenu	0
12	Merakurak	0
13	Tuban	0
14	Semanding	0
15	Palang	0
16	Grabagan	0
17	Plumpang	0
18	Widang	0
19	Rengel	0

Sumber: Hasil pengolahan data, 2016

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomer 10 Tahun 2009 tentang baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak di Jawa Timur yaitu untuk parameter total partikulat di udara ambien sebesar $0,26 \text{ mg/Nm}^3$. Jadi, hasil sebaran partikulat dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk masih dibawah baku mutu, dengan nilai tertinggi di Kecamatan Kerek sebesar $0,156839 \text{ mg/Nm}^3$. Namun, untuk usaha pencegahan juga harus dilakukan penyuluhan atau sosialisasi ke masyarakat sekitar tentang bahaya pencemaran yang diakibatkan oleh sebaran partikulat sehingga jika terjadi sebaran partikulat yang melebihi batas baku mutu maka masyarakat sudah mengetahui tata cara untuk menangani permasalahan tersebut.

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk dapat memberikan kompensasi di bidang lingkungan kepada masyarakat Kabupaten Tuban melalui program CSR (*Corporate Social Responsibility*). Berdasarkan hasil penelitian bahwa selain Kecamatan Kerek juga terdapat Kecamatan lainnya yang memiliki nilai konsentrasi partikulat juga tinggi, yaitu Kecamatan Montong, Bangilan dan Kenduruan. Kecamatan-kecamatan tersebut berhak mendapatkan program CSR (*Corporate Social Responsibility*) dari perusahaan.

Konsentrasi partikulat terbesar dari PT Semen Indonesia (Persero) Tbk terdapat pada jarak terdekat dengan titik cerobong dan daerah yang terletak di garis lurus titik cerobong sesuai arah angin. Konsentrasi rata-rata sebaran partikulat masing-masing Kecamatan diantaranya, Kecamatan Kerek 156.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Montong 9.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Bangilan 3.164 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Kenduruan 2.225 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Jatirogo 0.607 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Tambakboyo 0.282 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Soko 0.057 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Singgahan 0.022 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Bancar 0.013 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Parengan 0.009 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Senori 0.004 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan Kecamatan yang tidak dilalui arah angin konsentrasinya 0, yaitu Kecamatan Jenu, Merakurak, Grabagan, Rengel, Semanding, Tuban, Plumpang, Palang dan Widang. Konsentrasi partikulat tertinggi yang dihasilkan dari cerobong sebesar 0.156839 mg/Nm^3 sehingga masih dibawah ambang batas baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Buwal. 2001. *Massnahmen Zur Reduktion Von PM10-Emissionen*, Schlussbericht.
- Cooper, David and F.C Alley. 2002. *Air Pollution Control*, Waveland Press, USA.
- Kartikasari, Ratna. 2007. *Karakterisasi Ball Mill Import pada Industri Semen di Indonesia*. Jurnal Teknik Mesin, IX(1) : 18-24.
- Nauli, T. 2002. Pola Sebaran Polutan dari Cerobong Asap. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, P3TM-BATAN, Yogyakarta, pp 315 – 316.