

**INVESTIGASI TEKNIK “CLUSTERING” DALAM
METODE PERHITUNGAN EMISI SECARA TOP-DOWN
DARI INDUSTRI SEMEN**

**INVESTIGATION ON CLUSTERING METHOD OF TOP-
DOWN EMISSION POTENTIAL FROM CEMENT
INDUSTRY**

¹Nopa Dwi Maulidiany dan ²Haryo S. Tomo

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl Ganesha 10 Bandung 40132
e-mail : ¹nopadwimaulidiany@gmail.com, ²haryotomo@gmail.com

Abstrak: Industri semen sering dipertimbangkan sebagai salah satu industri kunci yang cenderung mencerminkan aktivitas ekonomi secara umum suatu negara. Di Indonesia industri semen juga termasuk dalam industri lahap energi yang memberikan kontribusi melepas pencemar udara yang cukup banyak ke udara ambien. Sumber emisi pencemar udara pada proses pembuatan semen Portland dikategorikan menjadi dua yaitu, sumber emisi dari proses produksi (tanpa pembakaran) dan sumber emisi dari proses pembentukan energi dari pembakaran bahan bakar untuk kebutuhan produksi. Pada proses produksi pembuatan semen, terdapat tiga proses utama yang dikategorikan menghasilkan pencemar udara, yaitu : persiapan bahan baku, pembuatan klinker di kiln, dan pembuatan semen itu sendiri. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan inventarisasi emisi dari sektor industri semen dengan parameter CO, NOx, SOx, dan PM. Untuk mendapatkan data mendetail yang dibutuhkan dalam inventarisasi emisi dilakukan metode clustering. Prinsip teknik clustering adalah membagi beban emisi dari sumber titik menjadi sumber area. Dasar pembagiannya adalah satuan wilayah terkecil dengan proporsi terbesar pada daerah yang terdapat industri pembuatan semen. Untuk mengetahui signifikansi data yang digunakan untuk teknik clustering maka dilakukan uji ANOVA.

Kata kunci: Industri semen, Indonesia, emisi pencemar udara, clustering, ANOVA.

Abstract: Cement industry is often considered as one of the key industries that tend to reflect the economy activity of a country. In Indonesia, cement industry is included as one of hunger energy industries that contribute enough emit air pollution to ambient. Sources of air pollutant emissions in the production of Portland cement generally are categorized into two categories, the source of emissions from the production process (without combustion) and the source of emissions from fuel combustion for production energy needs. There are three main categorized that generate air pollutants in the production process of cement manufacture: preparation of raw materials, clinker making in the kiln, and cement-making itself. This research calculates the emissions inventory from cement industry with the parameters are CO, NOx, SOx, and PM. To obtain the data required for detailed emissions inventory conducted clustering method. The principle of clustering techniques is to divide the load emissions from point sources into the source area. Basically, the division is a unit of the smallest region with the largest proportion which located the cement manufacturing industry. To know the significance of the data used for clustering technique, this research performs ANOVA test.

Key words: Cement Industry, Indonesia, pollutant emission, clustering, ANOVA.

PENDAHULUAN

Polusi udara saat ini telah mulai menjadi masalah yang cukup serius dengan berkembangnya industri dan teknologi pada abad ke-20 ini. Semen industri dipertimbangkan menjadi salah satu kontributor utama dalam pencemaran udara di dunia. Hal ini dikarenakan akibat dari banyaknya energi yang dikonsumsi dan emisi debu yang dihasilkan, Industri semen menjadi salah satu daftar prioritas dalam sumber emisi polusi (Canpolat, et al, 2001).

Semen merupakan komponen penting dalam pembangunan infrastruktur. Semen juga merupakan salah satu bahan mentah paling penting dalam industri konstruksi, terutama dalam hal infrastruktur dan program perumahan pemerintah yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan sosio-ekonomi dan perkembangan negara (Samantha, 2012). Karena pentingnya semen untuk berbagai konstruksi, tren produksi semen cenderung mencerminkan aktivitas ekonomi secara umum (Hanle, 2005).

Dalam kondisi negara Indonesia yang terus tumbuh saat ini, menimbulkan segala konsekuensi terhadap pertumbuhan riil bangsa Indonesia. Fenomena pertumbuhan ekonomi negara yang terus bergerak naik serta dukungan pemerintah terhadap iklim investasi memberikan beberapa harapan terhadap perkembangan sektor riil dan sektor keuangan. Salah satu sektor yang cukup baik untuk dicermati adalah sektor semen yang juga mendapat dukungan dari pemerintah berupa program kerja pemerintah terhadap pembangunan infrastruktur negara. (Sutiyono, 2010).

Pada tahun 2010 diperkirakan dari 16 perusahaan semen industri besar sedang telah memproduksi 49 juta ton semen di Indonesia (Kemenperin, 2010). Berdasarkan laporan verifikasi emisi gas rumah kaca pada industri Kementerian Perindustrian, di Indonesia industri semen termasuk industri lahap energi dan dikategorikan sebagai salah satu dari 8 industri pengolahan besar sedang yang sangat berpengaruh terhadap emisi di udara bebas Indonesia.

Jenis semen yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah jenis semen Portland. Semen Portland, terdiri dari campuran mineral hidrolik semen, kalsium silikat, aluminat dan alumniferrites, dan kalsium sulfat. (Myer, 1994). Sumber emisi pencemar udara pada proses pembuatan semen Portland dikategorikan menjadi 2, sumber emisi dari proses produksi (tanpa pembakaran) dan sumber emisi dari proses pembentukan energi dari pembakaran bahan-bakar untuk kebutuhan produksi.

Proses produksi semen membutuhkan energi yang cukup intensif. Pembuatan semen terdiri dari tiga langkah proses utama, yaitu : persiapan bahan baku, pembuatan klinker di kiln, dan pembuatan semen itu sendiri. Penggunaan energi listrik terbanyak terjadi saat proses persiapan bahan baku dan pembuatan semen, sedangkan penggunaan energi pembakaran bahan bakar terbanyak terjadi pada proses produksi klinker yang bertanggung jawab sekitar 70-80% dari total energi yang dikonsumsi (Worrel dkk, 2001).

Hingga saat ini inventarisasi emisi dari sektor industri semen yang telah dilakukan berbagai lembaga adalah inventarisasi untuk gas rumah kaca. Maka, dalam penelitian ini dilakukan perhitungan perkiraan beban emisi pencemar (CO, NO_x, SO_x dan PM) yang dihasilkan dari industri semen untuk produksi semen pada tahun 2010. Perhitungan inventarisasi beban emisi dilakukan dengan metode *top-down*. Dalam penelitian ini juga dilakukan analisis tingkat ketepatan pengolahan data untuk perhitungan dengan metode *top-down* dengan teknik *clustering*.

METODOLOGI

Wilayah studi dari penelitian ini adalah seluruh Indonesia yang memiliki 16 perusahaan industri semen yang tersebar di 12 provinsi pada tahun 2010 dari data Kemenperin. Untuk dapat menghitung perkiraan beban emisi yang dihasilkan dari tiap daerah yang memiliki industri semen maka diperlukan beberapa data, yaitu : data keberadaan tiap perusahaan semen, produksi semen per tahun dari tiap perusahaan, data penggunaan konsumsi bahan bakar tiap jenisnya untuk setiap perusahaan.

Inventarisasi Emisi

Sumber emisi yang diinventarisasi yaitu proses produksi dan proses pembakaran(energi) di industri pembuatan semen portland. Metode perhitungan beban emisi dilakukan dengan metode faktor emisi. Untuk menghitung beban emisi yang dihasilkan dari proses produksi maka digunakan persamaan (1) dibawah ini :

$$E_i = A_i \times EF_i \tag{1}$$

dimana:

E_i : emisi dari proses i ,

A_i : data aktivitas yang berupa jumlah produksi klinker* per tahun

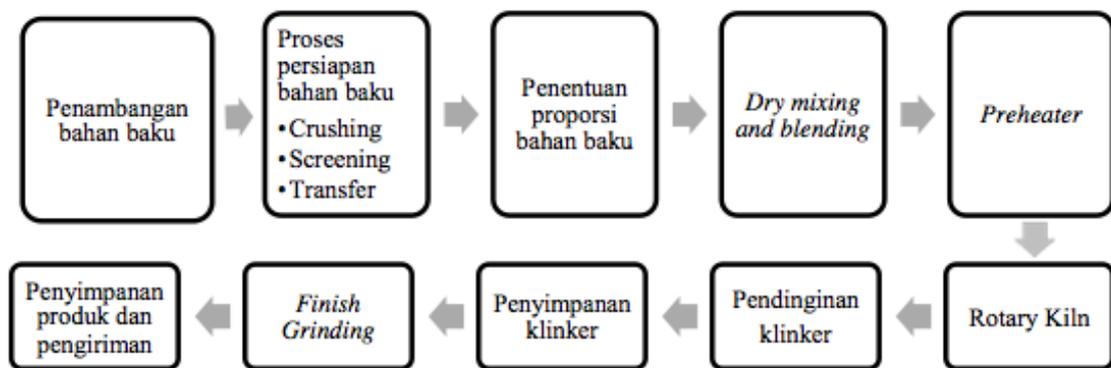
EF_i : faktor emisi untuk proses i

Jumlah produksi klinker per tahun yang diproduksi adalah 83% dari jumlah produksi semen portland per tahun. Angka 83% diambil dari rata-rata % jumlah klinker yang diproduksi dari 10 perusahaan semen di Indonesia tahun 2009 dalam laporan “Verifikasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Industri” (Kemenperin, 2010).

Berikut adalah proses yang dihitung menghasilkan pencemar udara dalam proses pembuatan semen :

1. *Primary limestone crushing*
2. *Primary limestone screening*
3. *Secondary limestone screening and crushing*
4. *Raw mill feed belt*
5. *Raw mill weigh hopper*
6. *Raw mill air separator*
7. *Raw mill (proportioning)*
8. *Preheater process(Rotary kiln)*
9. *Clinker cooler*
10. *Finish grinding mill feed belt*
11. *Finish grinding mill weigh hopper*
12. *Finish grinding*
13. *Finish grinding mill air separator*

Proses pembuatan semen di asumsikan menggunakan prinsip proses kering (dry process kiln) dengan tambahan opsional berupa proses preheater sebelum rotary kiln. Berikut diagram alir pada **Gambar 1.** untuk proses pembuatan semen :



Gambar 1. Proses produksi pembuatan semen (*dry kiln process*)

Perhitungan beban emisi dari proses pembakaran juga menggunakan prinsip yang sama yaitu dengan metode faktor emisi.

$$E_i = A_{i,j} \times EF_{i,j,k} \tag{2}$$

dimana:

E_i : emisi dari proses i

A_i : data aktivitas yang berupa konsumsi bahan bakar jenis j , untuk proses i

E_{Fi} : faktor emisi untuk proses i , jenis bahan bakar j

Dalam menghitung beban emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran internal maupun eksternal dalam produksi semen, diperlukan data aktivitas berupa data konsumsi bahan bakar per perusahaan. Untuk mendapatkan data konsumsi bahan bakar tersebut maka dilakukan metode *top-down* dengan teknik *clustering* secara sekuensial karena data yang ada adalah data konsumsi bahan bakar industri besar sedang per provinsi dan data konsumsi bahan bakar untuk sektor industri pembuatan semen se-Indonesia (BPS dan Kemenperin). Prinsip teknik *clustering* adalah membagi beban emisi dari sumber titik menjadi sumber area. Dasar pembagiannya adalah satuan wilayah terkecil dengan proporsi terbesar pada daerah yang terdapat industri pembuatan semen. Untuk menghitung konsumsi bahan bakar per perusahaan digunakan persamaan (3) dan (4) dibawah ini:

$$KBB \text{ industri semen}, j = \frac{KBB \text{ IBSi}, j}{KBB \text{ IBS totalj}} \times KBB \text{ industri semen total } j \quad (3)$$

dimana:

$KBB_{i,j}$: Konsumsi bahan bakar industri semen untuk provinsi i , jenis bahan bakar j

$KBB \text{ IBSi}, j$: Konsumsi bahan bakar industri besar sedang provinsi i , jenis bahan bakar j

$KBB \text{ IBS total}$: Konsumsi bahan bakar industri besar sedang total seluruh provinsi yang memiliki perusahaan pembuatan semen untuk jenis bahan bakar j

$KBB \text{ Industri semen total}$: Total konsumsi bahan bakar industri besar sedang Indonesia untuk jenis bahan bakar j .

Tabel 1. Keterangan sumber emisi yang diinventarisasi

Sumber emisi	Sumber data aktivitas
Proses	<ul style="list-style-type: none">• Data annual produksi semen per perusahaan semen di Indonesia (Kemenperin, 2010)
Energi (pembakaran dan listrik)	<ul style="list-style-type: none">• Data konsumsi bahan bakar industry besar sedang tiap propinsi di Indonesia (BPS, 2010)• Data konsumsi bahan bakar industry besar sedang tiap jenis industry di Indonesia (BPS, 2010)

Selanjutnya, untuk memperoleh konsumsi bahan bakar dari setiap perusahaan per jenis bahan bakar, gunakan hasil perhitungan persamaan (3) ke persamaan (4):

$$KBB \text{ } k, j = \frac{\text{Produksi semen per tahun } k}{\text{Total produksi semen per tahun}} \times KBB \text{ industri semen total } i, j \quad (4)$$

dimana:

$KBB_{k,j}$: Konsumsi bahan bakar industri semen untuk perusahaan i , jenis bahan bakar j

Produksi semen per tahun k : Produksi semen perusahaan k per tahun

$KBB \text{ industri semen}, j$: Konsumsi bahan bakar industri semen untuk provinsi i , jenis bahan bakar j .

Dalam teknik *clustering* ini, beban konsumsi bahan bakar per perusahaan dibebankan ke seluruh perusahaan lainnya yang di bagi berdasarkan data konsumsi bahan bakar provinsi dan produksi semen per perusahaan.

Faktor emisi yang digunakan untuk perhitungan beban emisi proses dan energi adalah faktor emisi dari *Air Pollution Engineering Manual* (Davis, 2000) dan AP-42 USEPA.

Uji signifikansi data

Untuk mengetahui signifikansi antara data produksi dengan hasil perhitungan beban emisi yang dilakukan dengan teknik *clustering* maka dilakukan uji signifikansi dengan metode ANOVA.

Dalam perhitungan ini, ANOVA yang digunakan adalah ANOVA satu arah dengan confidence level = 95%. ANOVA ini diterapkan untuk keempat pencemar utama yang dihitung emisinya dalam tugas akhir ini yaitu CO, SO₂, NO_x, dan PM.

Populasi yang digunakan dalam perhitungan ANOVA Satu Arah ini dibagi berdasarkan kabupaten yang memiliki industri semen, dimana terdapat 14 kabupaten. Dalam menghitung uji signifikansi dengan ANOVA dengan satu arah maka perlu dilakukan perhitungan setiap variable yang diperlukan untuk melengkapi ANOVA satu arah seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Contoh rekapitulasi metode perhitungan ANOVA satu arah

Sumber Variasi	Derajat Kebebasan df	Jumlah Kuadrat	Rerata Kuadrat	RK _f
Perlakuan	k - 1	$SS(Tr) = \left[\frac{T_i^2}{n} \right] - C$	$MS(Tr) = \frac{SS(Tr)}{k - 1}$	$\frac{MS(Tr)}{MSE}$
Galat (Error)	k (n-1)	$SSE = SST - SS(Tr)$	$MSE = \frac{SSE}{k (n - 1)}$	
Jumlah	nk - 1	$SST = \sum x_{ij}^2 - C$		

C = koreksi
 SS(Tr) = jumlah kuadrat antar sampel
 SST = jumlah kuadrat keseluruhan
 SSE = jumlah kuadrat dalam sebuah sampel
 $C = \frac{T^2}{k \times n}$
 T_i = jumlah n observasi dalam sampel ke-i
 T = jumlah kn observasi

Sumber: Damanhuri, 2011

. Dalam mengambil kesimpulan apakah data aktivitas yang diolah memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil perhitungan beban emisi maka dilakukan deskripsi H₀ dimana,

	H ₀ Benar	H ₀ Salah
Tolak H ₀	Kesalahan tipe pertama (<i>Type I Error</i>)	Benar
Gagal menolak H ₀	Benar	Kesalahan tipe kedua (<i>Type II Error</i>)

Gambar 2. Diagram jenis *error*

Hal penting yang harus diingat adalah H₀ tidak dapat dibuktikan benar atau salahnya. H₀ hanya dapat ditolak ataupun tidak ditolak.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil Inventarisasi Emisi

Proses pembuatan semen yang menghasilkan pencemar udara terdiri dari tiga proses utama, yaitu : persiapan bahan baku, pembuatan klinker di kiln, dan pembuatan semen itu sendiri (Worrel dkk, 2001). Untuk pencemar udara CO, NO_x, dan SO_x hanya dihasilkan dari proses pembuatan kiln yaitu dari proses *preheater* hingga proses pendinginan klinker. Sedangkan untuk partikulat dihasilkan hampir di seluruh proses produksi.

Seluruh perusahaan semen di Indonesia diasumsikan menggunakan proses kering (*dry process kiln*) dikarenakan proses *wet process* kiln terlalu tua dan membutuhkan energi listrik yang tinggi karena proses penguapan air dari *slurry*.

Dalam perhitungan beban emisi untuk partikulat, seluruh perusahaan dianggap menggunakan alat pengontrol udara berupa ESP dan *fabric filter*. Alat control ESP dipasang setelah proses rotary kiln dan dalam proses pendinginan klinker.

Berikut dalam **Tabel 3** menunjukkan hasil inventarisasi emisi dari dihasilkan dari proses produksi.

Tabel 3. Hasil inventarisasi emisi dari proses produksi dalam ton/tahun

Kabupaten	Produksi	Emisi CO	Emisi NO _x	Emisi SO _x	Emisi PM
Kota Cilegon	600.000	244,02	1.195,20	134,46	53,00
Kab. Bogor	18.540.000	7.540,22	36.931,68	4.154,81	1.637,54
Kab. Cilacap	3.320.000	1.350,24	6.613,44	744,01	293,24
Kab. Tuban	2.737.500	1.113,34	5.453,10	613,47	241,79
Kab. Gresik	5.462.500	2.221,60	10.881,30	1.224,15	482,48
Kab. Kota Baru	2.600.000	1.057,42	5.179,20	582,66	229,65
Kota Batam	1.200.000	48,04	2.390,40	268,92	105,99
Kota Bandar Lampung	797.300	324,26	1.588,22	178,67	70,42
Kab. Aceh Besar	1.400.000	569,38	2.788,80	313,74	123,66
Kota Kupang	570.000	231,82	1.135,44	127,74	50,35
Kab. Maros	1.800.000	732,06	3.585,60	403,38	158,99
Kab. Pangkajene	3.480.000	1.415,32	6.932,16	779,87	307,37
Kepulauan					
Kota Padang	5.440.000	2.212,45	10.836,48	1.219,10	480,49
Kab.Ogan Komering Ulu	1.250.000	508,38	2.490,00	280,13	110,41
Total	49.197.300	2.008,54	98.001,02	11.025,11	4.345,36

Dari data hasil perhitungan beban emisi dari proses produksi semen diperoleh Kabupaten Bogor memiliki beban emisi paling tinggi dibanding daerah lainnya. Hal ini dikarenakan di Kabupaten Bogor terdapat dua perusahaan yang keduanya termasuk perusahaan penghasil semen terbesar di Indonesia.

Dari hasil inventarisasi emisi juga diperoleh hasil persentasi proses penghasil emisi PM dari keseluruhan emisi yang dihasilkan dari tiap proses produksi (**Tabel 4**). Sumber emisi untuk proses pembentukan energi dibagi menjadi dua, yaitu dari proses pembakaran internal dan proses pembakaran eksternal. Proses pembakaran internal adalah proses pembakaran bahan bakar fosil yang terjadi langsung di dalam mesin (USEPA AP-42 1995), dalam penelitian ini proses pembakaran internal dikategorikan sebagai proses pembakaran bahan bakar yang menghasilkan energi listrik. Sedangkan proses pembakaran eksternal yang merupakan proses pembakaran yang tidak membakar bahan bakar, bahan bakar hanya dipanaskan dari sumber energi lain (USEPA AP-42 1995). Dalam penelitian ini proses pembakaran eksternal dikategorikan sebagai proses pembentukan energi yang digunakan dalam proses pembuatan klinker.

Hasil persentase emisi PM per proses penghasil emisi dari proses produksi semen ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil presentase emisi PM per proses penghasil emisi dari proses produksi semen

Nama proses ^a	Persentase emisi PM (%)
<i>Raw mill feed belt</i>	2
<i>Raw mill weigh hopper</i>	9
<i>Raw mill air separator</i>	15
<i>Raw mill (proportioning)</i>	6
Pendinginan klinker	45
<i>Finish grinding mill feed belt</i>	1
<i>Finish grinding mill weigh hopper</i>	4
<i>Finish grinding</i>	4
<i>Finish grinding mill air separator</i>	13

^a untuk proses yang tidak tercantum berarti memiliki 0% kontribusi dari emisi PM yang dihasilkan dari proses produksi semen

Konsumsi bahan bakar bensin, gas alam dan diesel dikategorikan sebagai bahan bakar utama untuk pembakaran internal, sedangkan bahan bakar LPG dan batubara dikategorikan sebagai bahan bakar utama untuk pembakaran eksternal. Seluruh perusahaan industri semen di Indonesia diasumsikan menggunakan jenis batu bara sub-bituminous, yaitu jenis batubara kualitas sedang. Hal ini dikarenakan sebagian besar industry besar sedang menggunakan jenis batu bara *sub-bituminous* (Sule, dkk, 2012).

Dalam **Tabel 5** ditampilkan hasil total beban emisi dari sumber industri pembuatan semen di Indonesia.

Tabel 5. Total beban emisi yang dihasilkan dari sektpr industry pembuatan semen di Indonesia dalam satuan ton/tahun

Kabupaten	Produksi	Emisi CO	Emisi NOx	Emisi SOx	Emisi PM
Kota Cilegon	600.000	20.793,56	281.897,91	1.364.093,37	389.752,92
Kab. Bogor	18.540.000	113.531,60	1.423.215,36	6.737.312,31	1.925.394,56
Kab. Cilacap	3.320.000	52.998,68	748.952,16	3.609.277,65	1.031.302,74
Kab. Tuban	2.737.500	11.646,79	154.361,52	724.359,24	207.025,69
Kab. Gresik	5.462.500	23.625,87	308.064,43	1.445.410,90	413.106,05
Kab. Kota Baru	2.600.000	5.870,49	74.482,05	337.471,29	96.483,54
Kota Batam	1.200.000	2.151,20	4.431,37	9.294,87	2.684,48
Kota Bandar Lampung	797.300	4.182,10	57.138,76	270.215,91	77.223,92
Kab. Aceh Besar	1.400.000	569,46	2.788,81	313,75	123,66
Kota Kupang	570.000	231,83	1.135,44	127,74	50,35
Kab. Maros	1.800.000	1.086,01	8.678,12	25.158,52	7.231,88
Kab. Pangkajene Kepulauan	3.480.000	2.100,18	16.777,77	48.639,81	13.981,64
Kota Padang	5.440.000	92.531,09	1.311.396,18	6.323.383,12	1.806.813,07
Kab.Ogan Komering Ulu	1.250.000	1.496,77	16.678,40	69.249,57	19.815,90
Total	49.197.300	333.491,33	4.410.091,32	20.964.308,06	5.990.990,39

Emisi pencemar udara total merupakan hasil penjumlahan emisi yang dihasilkan dari proses produksi dan proses pembentukkan energi. Dapat dilihat dari **Tabel 5**, hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kota Bogor sebagai kota penghasil pencemar udara terbanyak dari industri semen.

Berikut merupakan hasil perhitungan total pencemar udara yang dihasilkan per km² di tiap-tiap kabupaten yang memiliki perusahaan industri semen dalam **Tabel 6**.

Tabel 6. Total beban emisi yang dihasilkan dari sektor industri pembuatan semen di Indonesia per km²

Kabupaten	Luas Daerah ^a	Produksi ^b	Emisi CO ^c	Emisi NOx ^c	Emisi Sox ^c	Emisi PM ^c
Kota Cilegon	175,51	600.000	117,91	1.606,16	7.772,17	2.220,69
Kab. Bogor	3.440,71	18.540.000	33,00	413,64	1.958,12	559,59
Kab. Cilacap	2.138,51	3.320.000	24,78	350,22	1.687,75	482,25
Kab. Tuban	1.858	2.737.500	6,27	83,08	389,86	111,42
Kab. Gresik	1.195	5.462.500	19,77	257,79	1.209,55	345,70
Kab. Kota Baru	9.422,73	2.600.000	0,62	7,90	35,81	10,24
Kota Batam	239,2	1.200.000	8,99	18,53	38,86	11,22
Kota Bandar Lampung	192,96	797.300	21,67	296,12	1.400,37	400,21
Kab. Aceh Besar	2.969	1.400.000	0,19	0,94	0,11	0,04
Kota Kupang	160,34	570.000	1,45	7,08	0,80	0,31
Kab. Maros	1.619,12	1.800.000	0,67	5,36	15,54	4,47
Kab. Pangkajene Kepulauan	1.112,29	3.480.000	1,89	15,08	43,73	12,57
Kota Padang	694,96	5.440.000	133,15	1.887,01	9.098,92	2.599,88
Kab. Ogan Komering Ulu	2.772,56	1.250.000	0,54	6,02	24,98	7,15
Total		49.197.300		4.754,44	22.755,60	6.502,47

^a dalam satuan km²

^b dalam satuan ton/tahun

^c dalam satuan ton/tahun/km²

Analisis ketepatan penggunaan teknik clustering untuk perhitungan emisi dengan metode top-down

Dalam penelitian sebelumnya yaitu dari laporan “Studi Relevansi Jumlah dan Kepadatan Penduduk Serta Pendapatan Per Kapita Terhadap Tingkat Emisi Daerah Kalimantan” (Anindhyta, 2011) telah dilakukan teknik clustering untuk menghitung inventarisasi emisi dari semua sektor di pulau Kalimantan. Di dalam penelitian tersebut, teknik *clustering* yang digunakan untuk menghitung inventarisasi emisi dalam sektor industri menggunakan faktor jumlah tenaga kerja dan jumlah usaha. Dari hasil uji signifikansi di peroleh hasil bahwa tidak terdapat relevansi yang signifikan secara statistik antara jumlah tenaga kerja dan jumlah usaha dengan kejadian besaran emisi sektor industri di pulau Kalimantan. Hal ini dikarenakan perhitungan *clustering* untuk sektor industri dalam laporan tersebut menggunakan *clustering* jumlah penduduk.

Berikut dalam **Tabel 7** ditampilkan contoh hasil uji ANOVA pencemar PM dari proses produksi untuk faktor jumlah produksi semen. Sedangkan dalam **Tabel 8** ditampilkan contoh hasil uji ANOVA pencemar PM dari proses produksi dan proses pembentukan energi untuk faktor yang sama.

Tabel 7. Rekapitulasi ANOVA satu arah untuk seluruh Indonesia dari sektor industry semen dengan faktor jumlah produksi semen (emisi PM dari proses produksi)

Sumber variasi	SS (jumlah kuadrat)	Df	MS (rerata kuadrat)	RK _f (F _{hitung})	P-value	F _{kritis}
Antara grup (perlakuan)	8,64E+13	1	8,64E+13	8,10669	0,0085	4,225201
Di dalam grup (galat)	2,77E+14	26	1,07E+13			
Total	3,64E+14	27				

Tabel 8. Rekapitulasi ANOVA satu arah untuk seluruh Indonesia dari sektor industry semen dengan factor jumlah produksi semen (emisi PM total)

Sumber variasi	SS (jumlah kuadrat)	Df	MS (rerata kuadrat)	F (F hitung)	P-value	F _{kritis}
Antara grup (perlakuan)	6,67E+13	1	6,67E+13	6,124312	0,020176	4,225201
Di dalam grup (galat)	2,83E+14	26	1,09E+13			
Total	3,5E+14	27				

Dari hasil uji signifikansi dengan uji ANOVA untuk seluruh pencemar (CO, NO_x, SO_x, PM) diketahui bahwa semua faktor yang diuji terhadap sektor yang terkait memberikan hasil H₀ yang ditolak ($F_{hitung} > F_{kritis}$), yang artinya seluruh rerata populasi mempunyai penurunan yang berbeda. Dengan kata lain, varians emisi suatu pencemar dengan varians faktor pengujinya berbeda signifikan secara statistik. Arti dari ‘varians emisi suatu pencemar dengan varians faktor pengujinya tidak berbeda signifikan secara statistik’ adalah emisi dari sektor industri semen (dalam hal ini emisi dari *Particulate Matter*_{2,5}) mempunyai hubungan dengan jumlah produksi tiap tahunnya. Dengan kata lain, terdapat suatu signifikansi antara jumlah emisi pencemar dari proses produksi dan/atau emisi pencemar secara keseluruhan di sektor industri semen dengan jumlah produksi semen per tahunnya.

KESIMPULAN

Terdapat 16 perusahaan industri besar sedang pembuatan semen yang menjadi donator emisi keseluruhan di Indonesia. Dari perhitungan emisi udara yang telah dilakukan maka diperoleh bahwa Kota Bogor menjadi wilayah penghasil emisi terbesar untuk sektor industri semen di Indonesia. Dengan terdapatnya dua dari salah satu perusahaan pembuatan semen terbesar di Indonesia. Namun untuk emisi per km² di dapat hasil Kota Padang sebagai penghasil emisi terbesar per km². Hal ini dikarenakan di Kota Padang terdapat salah satu perusahaan industri semen produksi terbanyak di Indonesia namun dengan luas yang lebih kecil dibanding perusahaan semen raksasa lainnya.

Dari proses produksi di dapat hasil bahwa 45% emisi PM dihasilkan dari proses pendinginan klinker, 15% dari *raw mill grinding air separation*, 13% dari *finish grinding mill air separation*, 9% dari *raw mill weigh hopper*, 6% *raw mill* dan sisa proses lainnya menghasilkan emisi PM kurang dari 5%.

Dilakukan teknik *clustering* untuk menghitung data yang tidak ada. Data yang didapat dengan menggunakan teknik *clustering* adalah data konsumsi bahan bakar per daerah untuk konsumsi energi sektor industri semen. Dari hasil uji ANOVA untuk signifikansi, dengan variabel dependent berupa hasil perhitungan emisi dari proses produksi dan dari emisi total sektor industri dan variabel independent berupa jumlah produksi per tahun dari tiap-tiap daerah. Diperoleh hasil bahwa jumlah produksi per tahun dari masing-masing daerah berpengaruh secara signifikan terhadap emisi pencemar udara yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anindhyta, R.. 2011. Studi Relevansi Jumlah dan Kepadatan Penduduk serta Pendapatan Per Kapitan terhadap Tingkat Emisi Daerah. (Pengembangan Emission Database for Global Atmospheric Research-EDGAR Wilayah Kalimantan). Bandung, Indonesia : Prodi Teknik Lingkungan ITB.
- Canpolat, B. R. et al. 2001. Emission Factor of Cement Industry in Turkey. Istanbul, Turkey : Kluwer Academic Publisher, 138: 235-252, 2002
- Damanhuri, Enri. 2001. Statistika Lingkungan. Bandung, Indonesia : Penerbit ITB.

- Davis, Wayne T. 2000. Air Pollution Engineering Manual. USA : John Wile & Sons, Inc. Hanle, Lisa J.. 2004. CO2 Emission Profile of the U.S Cement Industry. Pennsylvania, USA :U.S Environmental Protection Agency.
- Kemenperin. 2011. Laporan Survey/Verifikasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Industri Kemetrian Perindustrian 2010. Jakarta, Indonesia : Kementrian Perindustrian.
- PT. Pertamina (Persero). 2009. Komposisi LPG Sesuai Spesifikasi & Standard Keselamatan. Diakses 2 Agustus 2012 dari http://www.pertamina.com/index.php/detail/get_pdf/arsip/2784
- Samantha, A., Chowdhury A., Dutta A,. 2012. Process Automation of Cement Plant. Kolkata, India : International Journal of Information Technology, Control and Automation, DOI:10.521/ijitca.2012.2206
- Sule, D. & Matasak, T. 2012. Booklet Pelatihan : Kualitas Low Rank Coal dan Dampak Serta Penanganannya pada Unit Power Plant. Balikpapan, Indonesia : PT. Geoservice. Sutyono, Arga Paradita. 2009. Outlook Industri Semen 2010. Jakarta, Indonesia :PT. AsiaKapitalindo.AP-42
- Team. 1995. Compilation of Air Pollutant Emission Factor Volume I : Stationary Point and Area Sources (AP-42). USA : U.S Environmental Protection Agency.
- Worrel, E., Price L., Martin N., Hendriks C., Meida L. Ozawa. 2001. Carbon Dioxide Emission from the Global Cement Industry. Berkeley, USA : Energy Analysis Department, Lawrence Berkeley National Laboratory.