

STUDI POLA DISPERSI EMISI GAS SO₂ DARI CEROBONG KILANG PT PERTAMINA (PERSERO) RU V BALIKPAPAN

Khairun Nisa

Politeknik Ilmu Pelayaran Balikpapan

Email: khairunnisa165@gmail.com

ABSTRACT

Modeling of exhaust emissions (SO₂) from refinery chimneys was carried out using the Gaussian Plume model through Screen3 software. The results showed that there was an influence of wind speed and atmospheric stability on the variation in modeling results. The higher the wind speed and the more stable an atmosphere, the lower the resulting concentration value. Modeling on the worst case scenario, produces the largest possible concentration value that might occur somewhere. The distribution map of the model results is displayed following the dominant wind direction, namely to the South and North of the refinery. The difference in the magnitude of the distribution of concentration values is depicted in the color difference. The more stable the conditions of atmospheric stability, the farther the high concentration will be from the refinery. The overall value of the model results shows a concentration value that is below the quality standard value when based on PP No. 41 of 1999. Mitigation of risk management includes regular training by industry and the government regarding air emissions and ambient air at refineries; through policies to eliminate the risk of industrial accidents.

Keywords: Gaussiang plume, dispersion, Screen3, mitigation, and stack

ABSTRAK

Pemodelan emisi gas buang SO₂ cerobong kilang, dilakukan dengan menggunakan model *Gaussian Plume* melalui perangkat lunak *Screen3*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh dari kecepatan angin dan stabilitas atmosfer terhadap variasi hasil pemodelan. Semakin tinggi kecepatan angin dan semakin stabil suatu atmosfer, maka nilai konsentrasi yang dihasilkan akan semakin rendah. Peta persebaran hasil pemodelan ditampilkan mengikuti arah angin dominan yaitu ke arah Selatan dan Utara kilang. Perbedaan besaran persebaran nilai konsentrasi digambarkan pada perbedaan warna. Semakin stabil kondisi stabilitas atmosfer, konsentrasi tinggi akan semakin jauh dari kilang. Keseluruhan nilai hasil pemodelan menunjukkan nilai konsentrasi yang berada di bawah nilai baku mutu bila didasarkan pada PP No.41 tahun 1999. Mitigasi penanggulangan resiko diantaranya melalui pemantauan rutin oleh pihak industri dan pemerintah mengenai emisi udara dan udara ambient pada kilang; melalui kebijakan – kebijakan untuk pengurangan resiko kecelakaan industri.

Kata Kunci: *Gaussian plume, Screen3, dispersi, mitigasi, dan cerobong asap.*

PENDAHULUAN

Industri merupakan salah satu aktifitas antropogenik yang berperan penting dalam proses pencemaran udara disamping peran selaku pendorong pertumbuhan berbagai sektor kehidupan terutama sektor ekonomi. Industri minyak dan gas bumi merupakan industri yang meliputi berbagai aktifitas produksi, *refinery* (pengilangan), transportasi, pemasaran minyak mentah dan gabungan gas alam serta produk olahan lainnya (API, 2009). Aktifitas pengilangan minyak bumi sendiri merupakan gabungan dari beberapa aktifitas fisik, termal, dan separasi kimia dari minyak bumi ke dalam berbagai fraksi destilasi utama, yang selanjutnya diproses melalui suatu rangkaian pemisahan (separasi) dan dikonversi ke dalam produk – produk akhir perminyakan.

Rangkaian aktifitas pengolahan tersebut juga mengeluarkan emisi gas, limbah cair, dan limbah padat. Emisi gas (polutan) yang dihasilkan umumnya meliputi VOCs (*volatile organic compounds*), *carbon monoxide* (CO), *sulfur oxides* (SO), nitrogen oxides (NO), partikulat, ammonia (NH), *hydrogen sulfide* (H₂S), logam, material asam, dan komponen organik racun lainnya (Cheremisinov, 2002). Salah satu penelitian di Iran menunjukkan bahwa hasil perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) dalam industri minyak dan gas (migas) di negara tersebut pada tahun 2003 mencapai 67.107.497 ton CO₂. Secara umum, emisi sektor pengilangan migas di Iran mencakup 19% dari total emisi GRK pada sektor industri migas di Iran (Karbassi dkk, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas pengilangan minyak dan gas (migas) dapat memainkan peran penting dalam emisi polutan.

Udara yang terdapat di lingkungan sekitar memiliki kualitas yang mudah berubah. Intensitas perubahan ini terjadi akibat adanya penambahan polutan yang dilepas ke udara ambien, baik yang terjadi akibat faktor alamiah maupun akibat aktifitas antropogenik di berbagai sektor kehidupan (dalam hal ini industri) yang kemudian berinteraksi dengan faktor-faktor meteorologis. Mulia (2005), pencemaran udara dapat menimbulkan dampak terhadap kesehatan, harta benda, ekosistem, maupun iklim. Dampak tersebut senada dengan Manik (2007), bahwa pada konsentrasi yang berlebihan zat-zat pencemar dapat membahayakan kesehatan manusia atau hewan, menyebabkan kerusakan tanaman, atau material, serta gangguan lainnya seperti berkurangnya jarak pandang dan bau. Konsentrasi zat pencemar di udara bebas dipengaruhi beberapa faktor seperti volume bahan pencemar, karakteristik zat, iklim (terutama curah hujan, arah, dan kecepatan angin), serta topografi.

Penyelesaian masalah pencemaran umumnya terdiri dari langkah pencegahan dan pengendalian. Pada prinsipnya langkah pencegahan bertujuan untuk mengurangi pencemar dari sumbernya untuk

mencegah dampak lingkungan yang lebih berat. Langkah pencegahan dibidang industri misalnya dengan mengurangi jumlah limbah, mengurangi keberadaan zat kimia yang bersifat racun dan berbahaya. Langkah pengendalian juga berperan sangat penting dalam menjaga lingkungan agar tetap bersih dan sehat. Pembuatan standar baku mutu lingkungan, monitoring lingkungan, maupun penggunaan teknologi untuk mengatasi masalah lingkungan merupakan bagian dari langkah – langkah pengendalian. Prakiraan dispersi udara sebagai salah satu bentuk monitoring lingkungan dapat dilakukan dalam bentuk pemodelan dispersi polutan.

Pemodelan dispersi senyawa polutan di atmosfer adalah suatu cara untuk meramalkan konsentrasi senyawa – senyawa kontaminan di udara ambien yang dihasilkan dari suatu bentuk spesifik sumber emisi yang dipengaruhi oleh kondisi spesifik meteorologi di suatu tempat pada periode waktu tertentu (Macdonald, 2003). Pemantauan atau monitoring emisi yang keluar dari kegiatan dan mutu udara ambien di sekitar lokasi kegiatan industri tersebut, diantaranya dapat dilakukan dengan pemodelan penentuan besaran konsentrasi dan prakiraan pola sebaran emisi keluaran kegiatan tersebut yang didasarkan pada kondisi meteorologi dan topografi lokal. *Gaussian Plume*, merupakan salah satu metode pemodelan yang digunakan dalam menganalisis dispersi sumber emisi titik tunggal kontinue. Penelitian ini akan menganalisis besaran dan pemetaan pola dispersi persebaran konsentrasi polutan berupa emisi gas SO₂ hasil keluaran cerobong PT Pertamina (Persero) RU V Balikpapan dengan menggunakan metode pemodelan Gaussian Plume tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu kegiatan pengumpulan data, pemodelan, pemetaan hasil pemodelan dispersi sumber pencemar udara, dan kajian mitigasi penanggulangan resiko.

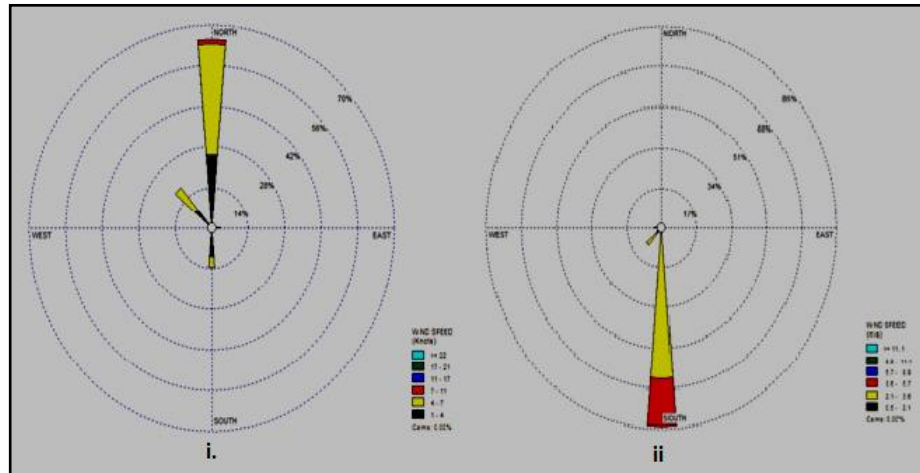
Pengumpulan Data

Pengumpulan data difokuskan pada:

Data Arah dan Kecepatan Angin

Data arah dan kecepatan angin diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kota Balikpapan. Analisis data arah dan kecepatan angin dilakukan dengan mengelompokkan frekuensi kejadian angin berdasarkan arah dan kecepatan angin untuk diketahui distribusi arah angin utama (*downwind*). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data angin 10 tahunan. Pola arah angin dalam penelitian ini dibagi atas dua musim, yaitu musim kemarau dan penghujan. Hal ini bertujuan

untuk melihat perbedaan arah dan kecepatan angin dominan pada kedua musim tersebut. Frekuensi kumulatif kejadian angin digunakan untuk membuat diagram *windrose*.



Gambar 1. Mawar Angin, i. Kondisi Musim Penghujan dan ii. Kondisi Musim Kemarau.
Sumber: Olahan Data Stasiun BMKG Balikpapan, 2001-2010

Data Sumber Emisi

Inventarisasi sumber emisi dilakukan untuk memperoleh gambaran rinci dan lengkap mengenai jenis dan sumber pencemar pada lokasi penelitian. Hal ini bertujuan untuk mendukung dalam analisis dispersi polutan. Inventarisasi sumber emisi dalam penelitian ini dibatasi pada sumber emisi berupa cerobong (*stack*). Data pengukuran emisi bersumber dari data Laboratorium Pengujian Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) yang terdapat pada Laporan RKL-RPL (2009-2010). Sumber emisi yang dianalisa dalam laporan ini terdiri atas 14 buah cerobong. Masing – masing cerobong memiliki parameter fisik yang berbeda – beda (tabel 1).

Tabel 1. Parameter fisik cerobong

No	Nama Cerobong	Dimensi Cerobong		Flow Rate (m ³ /det)	Suhu Emisi (K)
		Diameter (d)	Tinggi (h)		
		(m)	(m)		
1	STACK-BOILER 1 (HHP BOILER 1)	1.9	60	28.34	462
2	STACK-BOILER 2 (HHP BOILER 2)	1.9	60	28.34	503
3	STACK-BOILER 3 (HHP BOILER 3)	1.9	60	28.34	478
4	STACK-BOILER 4 (HHP BOILER 4)	2.942	60	67.94	493

5	STACK-BOILER 5	2.942	60	67.94	486
6	STACK-BOILER 6(HHP BOILER 6)	2.942	60	67.94	482
5	STACK-CDU V	2.416	41.65	45.82	613
6	STACK-H2 Plant	3	61.25	70.65	526
7	STACK-HCU B	3	91	70.65	447
8	Stack HCU-A/ F-3-01A	3	91	70.65	439
9	STACK-HSC CCR	0.1	3	0.08	584
10	STACK-F501 A	3	91	70.65	560
13	STACK-HSC F-101A	3	91	70.65	618
14	STACK HSC F-101B	3	91	70.65	595

Pemodelan

Pemodelan dispersi polutan cerobong dilakukan dengan menggunakan model matematis yang disusun berdasarkan persamaan *Gauss Dispersion Model*. Screen3 merupakan salah satu perangkat lunak komputer yang dikembangkan oleh *United States Environmental Protection Agency's* (U.S. EPA) untuk mendapatkan konsentrasi maksimal dari sebaran polutan dengan menggunakan persamaan Gaussian. Model Screen3 dapat digunakan untuk menentukan dispersi pencemar udara dengan lebih cepat karena prosesnya yang tidak terlalu kompleks. Keluaran (*output*) dari model screen3 berupa nilai konsentrasi maksimum polutan yang diemisikan pada jarak tertentu dari sumber. Pemodelan dispersi udara dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa skenario yang berpengaruh terhadap hasil akhir konsentrasi maksimal polutan yang diperoleh. Skenario tersebut, antara lain: skenario daerah (*terrain scenario*); skenario meteorologi; skenario wilayah penerima; skenario efek tarikan gedung (*building downwash*); dan skenario efek fumigasi. Berikut adalah *Gaussian Plume* :

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \left(e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2} \right) \quad (1)$$

C = konsentrasi polutan pada suatu titik (x,y,z), dalam μgm^{-3}

Q = laju emisi, dalam gs^{-1}

σ_y , = koefisien dispersi Gauss arah

σ_z horizontal (y) dan vertikal (z), merupakan fungsi dari jarak x (m)

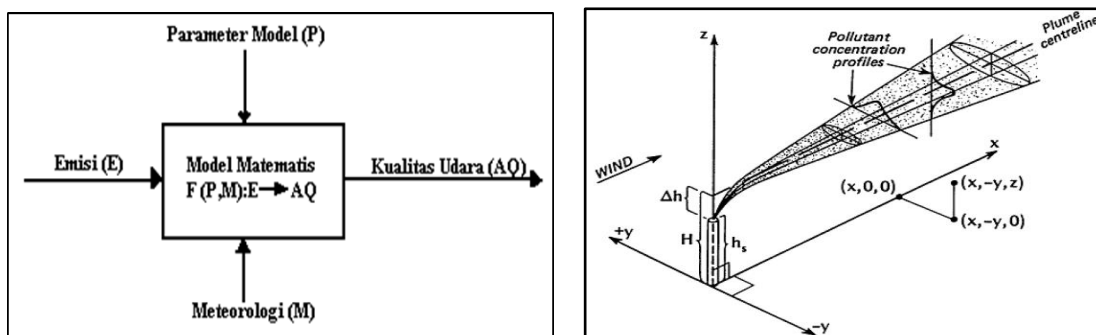
u = kecepatan angin rata-rata pada

ketinggian cerobong, arah x dalam ms^{-1}

y = simpangan menurut sumbu y, dalam m

z = selisih ketinggian sumber emisi terhadap tempat pemaparan, dalam m

H = ketinggian efektif ($H=h+\Delta h$), h adalah ketinggian cerobong dan Δh adalah tinggi kepulan di atas cerobong, dalam m.



Gambar 2. (i) Struktur Skema dari Suatu Model Kualitas Udara; (ii) Model Dispersi *Gaussian*

Pemetaan Hasil Pemodelan

Visualisasi konsentrasi hasil pemodelan dispersi polutan keluaran cerobong kilang ditampilkan dalam bentuk peta sebaran. Pemetaan hasil pemodelan dilakukan menggunakan program ArcGisData. Pemetaan arah dispersi polutan didasarkan pada arah angin dominan yang berpengaruh pada arah persebaran polutan.

Kajian Mitigasi Penanggulangan Resiko

Kajian mitigasi penanggulangan dampak dispersi gas buang cerobong, didasarkan pada hasil pemodelan dan peta sebaran dari hasil pemodelan. Berdasarkan data hasil pemodelan dan peta persebaran tersebut, akan diperoleh tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap dampak dispersi polutan. Selanjutnya akan dianalisa berdasarkan kondisi wilayah yang kemungkinan terkena dampak.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pemodelan

Berdasarkan data parameter emisi, parameter fisik cerobong, dan parameter meteorologi yang telah dikumpulkan, dilakukan pemodelan dispersi polutan dengan beberapa skenario. Skenario pertama adalah penentuan skenario daerah (*terrain scenario*) untuk masing – masing cerobong. Didasarkan pada kondisi kenaikan ketinggian di daerah seputar kilang Pertamina RU V Balikpapan dan kondisi ketinggian fisik cerobong sumber emisi, dihasilkan pemilihan skenario daerah yang ditampilkan dalam tabel 2.

Melalui tabel Tabel 2 dapat diketahui bahwa pada cerobong 1,2,3,5,6,8,9,10, dan 11, akan dilakukan pemodelan dengan skenario *simple terrain* (ST) khususnya *simple flat terrain*. Pada sumber emisi 4 akan dilakukan dalam dua skenario daerah, skenario *simple terrain* (*simple flat terrain* dan *elevated terrain*) dan *complex terrain* (CT). Sumber emisi 7 juga akan dilakukan dalam dua skenario

daerah, *simple terrain (simple flat terrain)* dan *complex terrain*. Pada masing – masing skenario kondisi daerah tersebut, akan diberlakukan perhitungan konsentrasi polutan pada dua skenario kondisi meteorologi.

Tabel 2. Pemilihan Skenario Daerah Berdasarkan Ketinggian Cerobong

Pemilihan Skenario Daerah Sumber Emisi												
Sumber Emisi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Tinggi Cerobong (m)	60	60	60	41.65	61.25	91	3	91	60	60	91	
Ketinggian Terrain (m)	0	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST
	25	-	-	-		-	-	CT	-	-	-	-
	50	-	-	-		-	-	CT	-	-	-	-

Kondisi meteorologi pertama adalah pada kondisi setiap kelas stabilitas atmosfer (*single stability class atmosfer*) dengan kecepatan angin dominan yang umumnya terjadi di kota Balikpapan adalah pada kecepatan angin 2.4 m/s (pada kisaran musim kemarau) dan 2.7 m/s (pada kisaran musim penghujan). Maka, masing – masing cerobong akan di *running* pada kedua kondisi kecepatan angin tersebut dan pada setiap kelas stabilitas atmosfer (A-F). Tabel 3 dan tabel 4 menampilkan nilai konsentrasi maksimum dan jarak dari masing – masing cerobong pada kecepatan angin 2.4 m/s dan 2.7 m/s.

Tabel 3. Konsentrasi maksimum emisi pada kecepatan angin 2.4 m/s

Sumber Emisi	Konsentrasi Emisi pada Kecepatan Angin 2.4 m/s									
	Kelas Stabilitas Atmosfer									
	A		C		D		E		F	
	Jarak	SO2	Jarak	SO2	Jarak	SO2	Jarak	SO2	Jarak	SO2
1	562	0.52	1848	0.32	5055	0.16	7232	0.13	14999	0.07
2	698	0.38	2959	0.19	9858	0.08	9778	0.12	16911	0.06
3	696	0.38	2940	0.19	9772	0.08	10000	0.12	16430	0.07
4	658	0.29	2623	0.16	8214	0.07	7081	0.13	13530	0.09
5	719	7.22	3202	3.48	10600	1.44	10000	2.26	18700	1.17
6	711	15.6	3126	7.43	10520	3.02	13672	2.77	18800	0.97
7	19	3.91	19	8.79	19	10.8	19	10.8	19	10.8
8	766	2.24	3669	1.00	13358	0.38	15303	0.43	18800	0.14
9	570	1.00	1903	0.60	5267	0.30	7356	0.25	14999	0.14
10	703	0.98	3044	0.48	10001	0.20	9895	0.31	17161	0.16
11	771	2.42	3773	1.07	13932	0.40	15595	0.47	18800	0.15

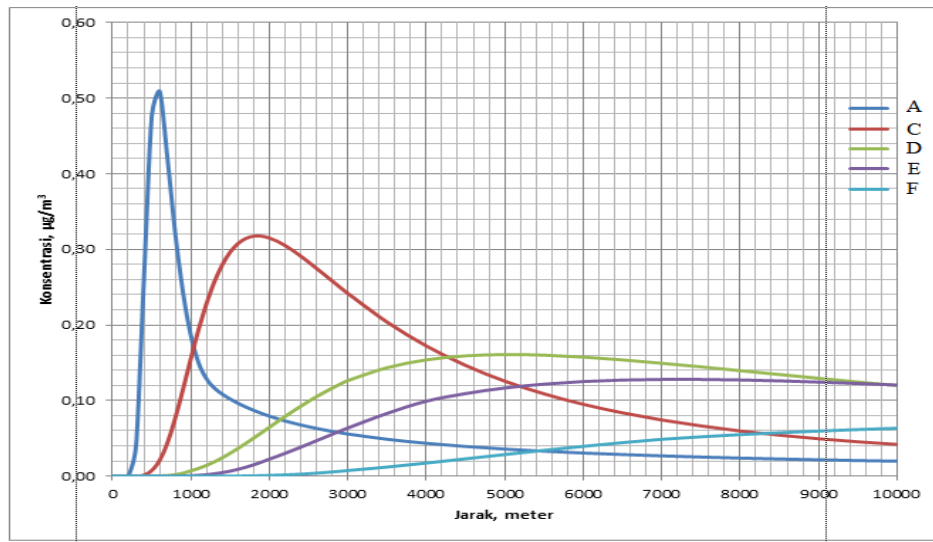
Tabel 4. Konsentrasi Maksimum Emisi pada Kecepatan Angin 2.7 m/s

Sumber Emisi	Konsentrasi Emisi pada Kecepatan Angin 2.7 m/s									
	Kelas Stabilitas Atmosfer									
	A		C		D		E		F	
	Jarak	SO ₂	Jarak	SO ₂	Jarak	SO ₂	Jarak	SO ₂	Jarak	SO ₂
1	543	0.52	1716	0.33	4556	0.17	6994	0.12	14651	0.07
2	666	0.38	2699	0.20	8647	0.09	9398	0.11	15731	0.06
3	664	0.39	2682	0.20	8573	0.09	9601	0.12	14999	0.07
4	630	0.30	2373	0.17	7106	0.08	6764	0.12	196	0.20
5	690	7.39	2916	3.68	9666	1.59	10000	2.14	17322	1.14
6	686	15.59	2895	7.64	9803	3.20	13230	2.58	18800	0.95
7	19	3.48	19	7.82	19	9.63	19	9.60	19	9.60
8	733	2.26	3375	1.04	11792	0.41	14771	0.40	18800	0.14
9	550	0.99	1765	0.62	4737	0.32	7111	0.23	14911	0.13
10	675	1.00	2774	0.51	8988	0.22	9500	0.29	15973	0.16
11	743	2.45	3466	1.12	12273	0.43	15052	0.44	18800	0.15

Pada suatu wilayah, memungkinkan untuk memiliki kondisi stabilitas udara yang stabil. Namun dilain waktu wilayah tersebut juga dapat memiliki kondisi stabilitas udara yang tidak stabil. Dengan demikian konsentrasi sebaran polutan pada suatu titik juga akan berfluktuasi mengikuti fluktuasi stabilitas atmosfer. Stabilitas atmosfer menunjukkan tingkat turbulensi udara ke arah vertikal. Grafik pada gambar 3, merupakan ilustrasi pengaruh kestabilan terhadap penyebaran polutan. Pada kondisi sangat tidak stabil (A) grafik pesebaran polutan yang dihasilkan lebih curam dibandingkan pada kondisi stabilitas lainnya.

Stabilitas atmosfer menunjukkan tingkat turbulensi udara ke arah vertikal. Grafik pada gambar 3., merupakan ilustrasi pengaruh kestabilan terhadap penyebaran polutan. Pada kondisi sangat tidak stabil (A) grafik pesebaran polutan yang dihasilkan lebih curam dibandingkan pada kondisi stabilitas lainnya. Umumnya pada kondisi ini penyebaran polutan dianggap tidak berbahaya karena menyebabkan kepulan asap cerobong bergerak vertikal dan terus ke atas. Hal tersebut terjadi karena suhu massa udara dekat cerobong lebih besar dibandingkan suhu udara sekitar. Konsentrasi polutan akan meningkat mencapai nilai maksimum, kemudian akan mengalami penurunan.

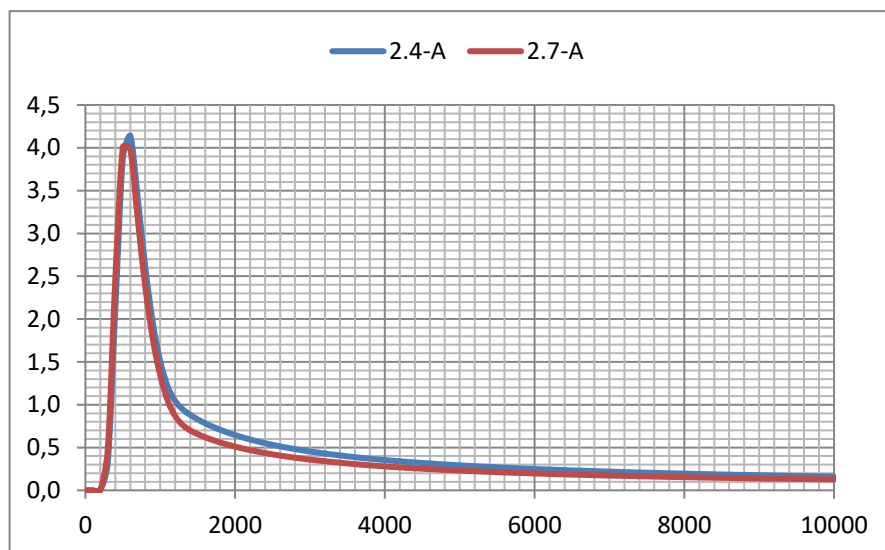
Semakin stabil kondisi atmosfer, grafik pesebaran polutan yang dihasilkan akan lebih landai. Keadaan atmosfer yang lebih stabil menyebabkan asap polutan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah dan tidak dapat bergerak lebih tinggi lagi karena tidak terjadi pergerakan udara vertikal. Hal ini cenderung membahayakan daerah yang terkena asap tersebut.



Gambar 3. Grafik Pesebaran Konsentrasi Polutan pada Kecepatan Angin Sama dan Stabilitas Atmosfer Berbeda

Umumnya pada kondisi ini penyebaran polutan dianggap tidak berbahaya karena menyebabkan kepulan asap cerobong bergerak vertikal dan terus ke atas. Hal tersebut terjadi karena suhu massa udara dekat cerobong lebih besar dibandingkan suhu udara sekitar. Konsentrasi polutan akan meningkat mencapai nilai maksimum, kemudian akan mengalami penurunan. Semakin stabil kondisi atmosfer, grafik pesebaran polutan yang dihasilkan akan lebih landai. Keadaan atmosfer yang lebih stabil menyebabkan asap polutan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah dan tidak dapat bergerak lebih tinggi lagi karena tidak terjadi pergerakan udara vertikal. Hal ini cenderung membahayakan daerah yang terkena asap tersebut.

Variasi jarak dan nilai konsentrasi polutan juga diperoleh pada kondisi kecepatan angin berbeda dengan kelas stabilitas atmosfer yang sama. Perubahan konsentrasi terhadap fungsi kecepatan angin dapat diketahui dengan membandingkan nilai konsentrasi polutan pada penerapan skenario kondisi kecepatan angin berbeda (kecepatan angin 2.4 dan 2.7 m/s). Gambar grafik 3, merupakan salah satu perbandingan nilai konsentrasi polutan SO_2 pada kondisi stabilitas atmosfer sama (stabilitas atmosfer tidak stabil) dengan kecepatan angin berbeda pada sumber emisi 1.



Gambar 4. Grafik Pesebaran Konsentrasi Polutan pada Kecepatan Angin Berbeda dan Stabilitas Atmosfer Sama

Pada kondisi tersebut, besaran konsentrasi polutan akan mengalami penurunan seiring peningkatan laju kecepatan angin. Hal ini dikarenakan angin dengan kecepatan lebih tinggi, pergolakannya lebih kuat sehingga konsentrasi pencemar menjadi encer. Udara yang tercemar akan lebih cepat tercampur dengan udara sekelilingnya. Jarak terbentuknya konsentrasi maksimum akan semakin jauh dari cerobong seiring penurunan kecepatan angin, sehingga grafik yang dihasilkan semakin landai. Hal tersebut terjadi karena kecepatan angin yang kecil menyebabkan tingginya kenaikan kepulan asap yang berdampak pada semakin jauhnya daerah konsentrasi maksimum dari sumber polutan. Sebaliknya, semakin besar kecepatan angin maka kenaikan kepulan akan semakin kecil sehingga daerah terbentuknya konsentrasi maksimum berada dekat dengan cerobong.

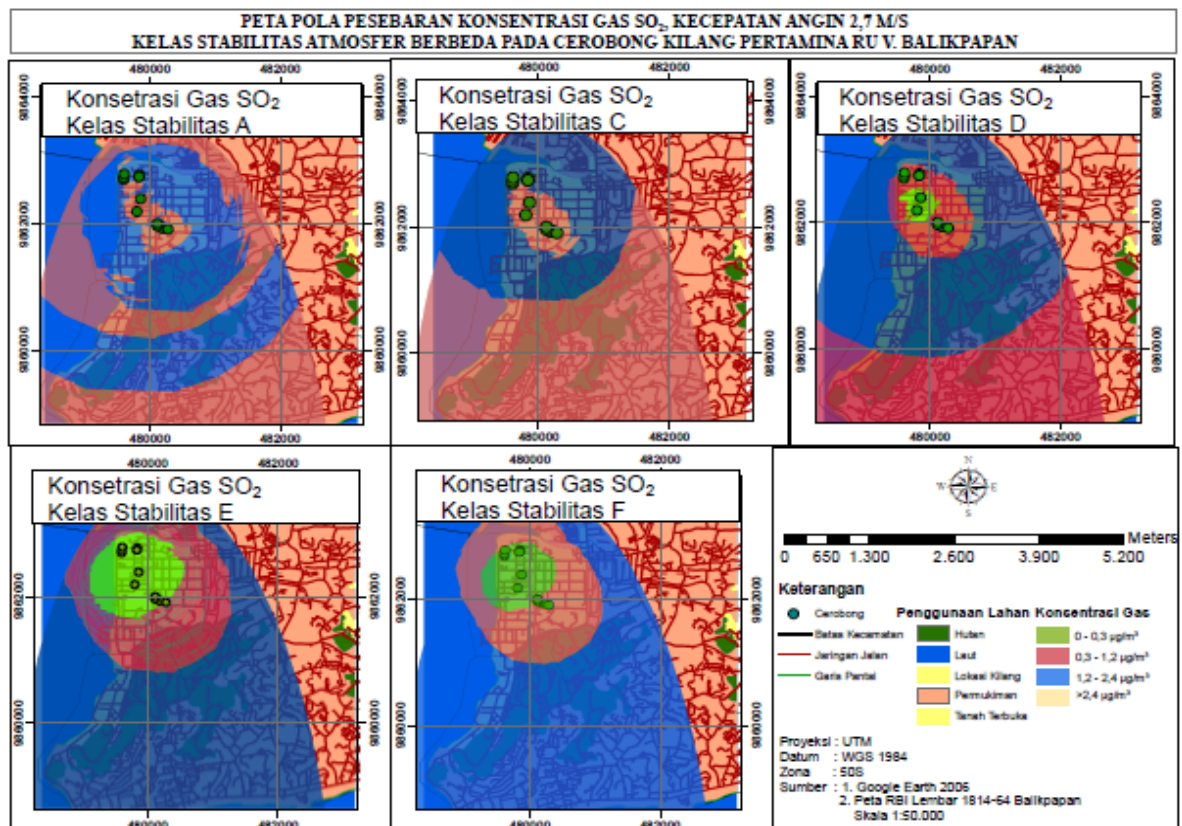
Analisis Pola Spasial Hasil Pemodelan Cerobong Kilang

Melalui perhitungan pemodelan dispersi gaussian menggunakan screen3 dengan beberapa skenario, diperoleh nilai konsentrasi zat pencemar pada sebaran jarak tertentu dari sumber di kawasan daerah penerima (reseptor). Nilai konsentrasi pada sebaran jarak tertentu tersebut, kemudian dibuat interpolasi untuk menggambarkan pola spasial dispersi gas polutan dari cerobong kilang Pertamina RU. V Balikpapan. Pola spasial digambarkan dalam bentuk akhir peta persebaran. Pada interpolasi data konsentrasi zat pencemar, diasumsikan semburan emisi SO_2 dari cerobong – cerobong di kilang terjadi pada waktu yang sama. Hal ini untuk mengetahui pola dispersi dan konsentrasi polutan pada suatu kawasan yang berasal dari cerobong - cerobong kilang.

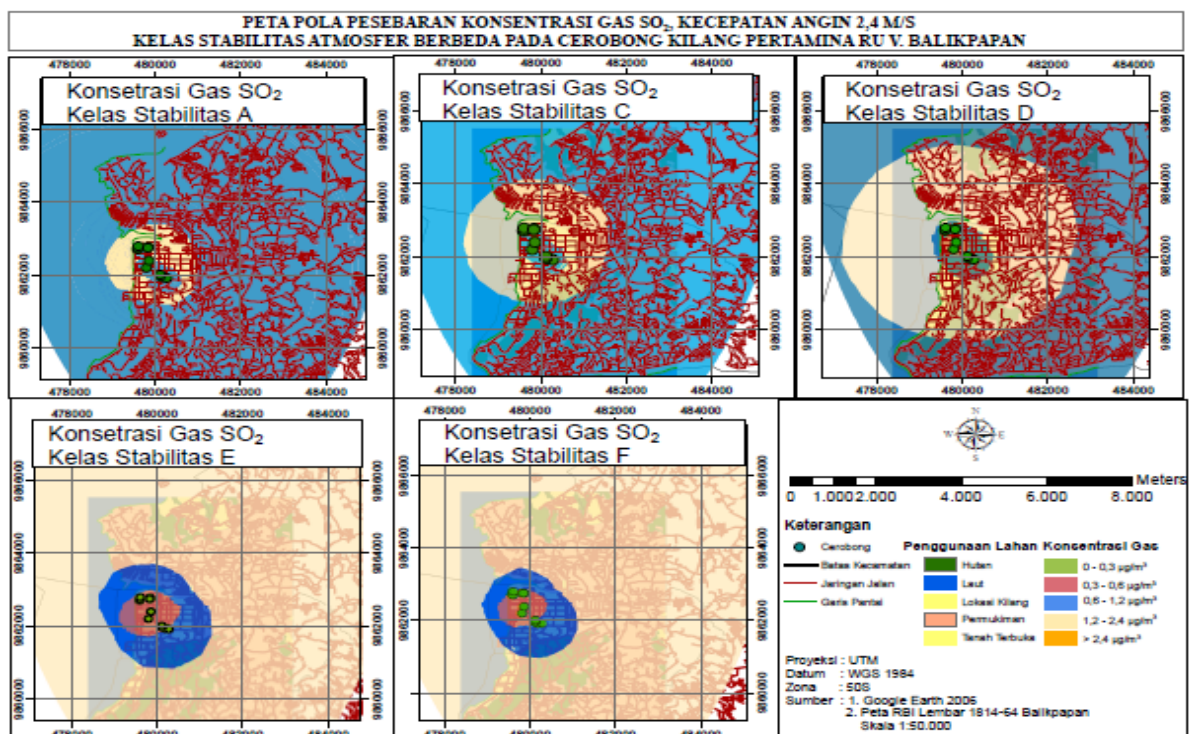
Modeling pencemaran udara pada skenario meteorologi berbeda, jika digabungkan akan dapat menampilkan daerah yang diduga akan sering terkena dampak pencemaran. Berdasarkan diagram windrose arah dan kecepatan angin dari perwakilan bulan – bulan pada musim penghujan dan kemarau, digambarkan arah persebaran pada musim penghujan adalah dari arah Utara (kecepatan angin 2,7 m/s) dan musim kemarau dari arah Selatan (kecepatan angin 2,4 m/s). Penggambaran tingkat besaran konsentrasi persebaran polutan pada peta ditunjukkan melalui perbedaan warna. Warna merah menunjukkan nilai konsentrasi polutan yang paling tinggi, dan warna hijau menunjukkan konsentrasi polutan yang paling rendah. Pada sisi kanan bawah peta, terdapat kolom warna yang menunjukkan semakin ke bawah maka nilai konsentrasi akan semakin menurun seiring perubahan warna dari merah ke hijau.

Berdasarkan data persebaran emisi dari 11 sumber emisi (cerobong), pada kecepatan angin 2,7 m/s, dengan arah angin dari arah Utara ke Selatan, dapat dilihat bahwa penerapan besaran nilai konsentrasi tinggi untuk setiap kelas stabilitas atmosfer pada setiap gas polutan yang dimodelkan adalah berbeda. Konsentrasi gas polutan terbesar yang diemisikan hingga ke reseptor, terjadi pada stabilitas A yaitu pada kondisi sangat tidak stabil. Kondisi stabilitas ini umumnya terjadi pada pagi hari (sekitar jam 7-8 pagi) hingga siang hari. Sementara untuk jarak sebaran gas terbesar terjadi pada stabilitas netral (D) hingga stabil (F), namun dengan nilai konsentrasi lebih rendah. Kelas stabilitas ini umumnya terjadi pada malam hari. Secara umum gas yang diemisikan pada stabilitas sangat tidak stabil (A) sampai stabil (F), menunjukkan semakin jauh jarak sebaran, semakin kecil konsentrasinya. Pada stabilitas A hingga C, zona dengan konsentrasi tertinggi berada pada kawasan kilang hingga jarak ± 3000 meter dari kilang. Pada stabilitas D hingga F, konsentrasi tertinggi terdapat pada kisaran jarak ± 8000 meter hingga ± 10.000 meter dari kilang.

Kawasan sebelah Utara lokasi kilang merupakan kawasan kecamatan Balikpapan Barat yang terdiri atas kelurahan Baru Ilir, kelurahan Marga Sari, Kelurahan Margo Mulyo, Kelurahan Baru Tengah, Kelurahan Baru Ulu, dan kelurahan Kariangau. Luasan daerah Kecamatan Balikpapan Barat adalah 179,95 Km². Jumlah penduduk yang tercatat berdasarkan data BPS kota Balikpapan (2014) adalah 70.993 jiwa dengan kepadatan penduduk 394 jiwa/km². Kawasan Balikpapan Barat merupakan daerah pemukiman, sarana pendidikan, jasa/ komersial, dan ruang terbuka.



Gambar 5. Peta pola sebaran konsentrasi gas SO₂ pada kecepatan angin 2,7 m/s



Gambar 6. Peta pola sebaran konsentrasi gas SO₂ pada kecepatan angin 2,4 m/s

Pada kecepatan angin 2,4 m/s, dengan arah dominan dari Selatan ke Utara, data persebaran emisi dari 11 sumber emisi juga memiliki besaran konsentrasi berbeda untuk setiap kelas stabilitas. Konsentrasi gas polutan terbesar yang diemisikan hingga ke reseptor, terjadi pada stabilitas A yaitu pada kondisi sangat tidak stabil. Kondisi stabilitas ini umumnya terjadi pada pagi hari (sekitar. Sementara untuk jarak sebaran gas terbesar terjadi pada stabilitas netral (D) hingga stabil (F), namun dengan nilai konsentrasi lebih rendah. Secara umum gas yang diemisikan pada stabilitas sangat tidak stabil (A) sampai stabil (F), menunjukkan semakin jauh jarak sebaran, semakin kecil konsentrasinya.

Kawasan sebelah Utara lokasi kilang merupakan kawasan kecamatan Balikpapan Barat yang terdiri atas kelurahan Baru Ilir, kelurahan Marga Sari, Kelurahan Margo Mulyo, Kelurahan Baru Tengah, Kelurahan Baru Ulu, dan kelurahan Kariangau. Luasan daerah Kecamatan Balikpapan Barat adalah 179,95 Km². Jumlah penduduk yang tercatat berdasarkan data BPS kota Balikpapan (2014) adalah 70.993 jiwa dengan kepadatan penduduk 394 jiwa/km². Kawasan Balikpapan Barat merupakan daerah pemukiman, sarana pendidikan, jasa/ komersial, dan ruang terbuka.

Mitigasi Penanggulangan Resiko Berdasarkan Hasil Pemodelan

Mitigasi merupakan tindakan yang diambil untuk mengurangi pengaruh – pengaruh dari suatu bahaya sebelum bahaya itu terjadi. Semakin besar nilai emisi yang dikeluarkan oleh cerobong, maka nilai konsentrasi yang didispersikan juga akan semakin besar. Variasi Faktor meteorologi dan kondisi geografis lokal juga memiliki peran penting dalam persebaran gas polutan. Pemodelan dispersi dan pemetaan pola dispersi, dilakukan untuk mengetahui kawasan – kawasan yang diperkirakan rentan terpapar konsentrasi tinggi. Melalui peta persebaran pola dispersi gas SO₂ pada berbagai skenario kelas stabilitas atmosfer, dapat diketahui bahwa umumnya daerah yang rentan terpapar konsentrasi tinggi adalah daerah kawasan kilang dan daerah sekitar kilang (radius \pm 4000 meter).

Berdasarkan diagram windrose, arah angin dominan adalah ke arah Selatan dan Utara kilang. Kawasan Selatan kilang, terdapat pelabuhan, area jasa/ perdagangan, perkantoran, perumahan, sarana pendidikan, tanah terbuka, dan hutan kota. Demikian pula penggunaan lahan pada kawasan sebelah Utara kilang. Kawasan sebelah Barat berbatasan dengan teluk Balikpapan, pada sisi Timur kilang terdapat hutan kota dan daerah berbukit. Keadaan topografi dan keadaan lingkungan akan mempengaruhi dispersi polutan di suatu kawasan. Lokasi kawasan kilang yang berada di dekat Teluk Balikpapan (permukaan air yang luas), memungkinkan adanya perbedaan suhu pada permukaan tanah pada siang dan malam hari. Pada siang hari, suhu udara di atas permukaan air akan lebih rendah dibandingkan di daratan, sehingga tekanan udara di atas daratan menjadi lebih rendah sehingga angin bergerak dari laut ke darat. Pada

malam hari berlaku berkebalikan, tekanan udara di daratan menjadi lebih tinggi sehingga angin akan bertiup ke arah laut. Keberadaan tanah dengan kontur tinggi (perbukitan), juga dapat menyebabkan perubahan arah angin. Pada siang hari, pemanasan lembah akan menyebabkan angin bertiup ke kawasan yang lebih tinggi, dan sebaliknya pada malam hari suhu dingin di puncak akan menyebabkan angin bertiup ke kawasan yang lebih rendah.

Gas SO₂ tergolong dapat membahayakan makhluk hidup apabila memiliki jumlah melebihi nilai baku mutu. Pemerintah Republik Indonesia telah menetapkan Baku Mutu Udara Ambien di dalam Peraturan Pemerintah tentang Pengendalian Pencemaran Udara (PP No.41 Tahun 1999). WHO dan *National Ambient Air Quality Standards – USEPA*, juga menetapkan besaran baku mutu udara ambien yang seharusnya tidak boleh dilampaui pada suatu kawasan. Tabel 6 menampilkan nilai baku mutu berdasarkan PP No.41 Tahun 1999, WHO, *National Ambient Air Quality Standards – USEPA*.

Tabel 6. Baku Mutu Udara Berdasarkan PP No.41 Tahun 1999, WHO, dan *National Ambient Air Quality Standards – USEPA* (No, P.M.L.H 12, 2010)

No	Parameter	Acuan	Waktu Pengukuran	Baku Mutu (µg/m ³)
1	SO ₂	PP No.41 Tahun 1999	1 Jam	900
			24 Jam	365
			1 Tahun	60
		WHO	1 Jam	70000
			8 Jam	10000
			24 Jam	35000
		<i>National Ambient Air Quality Standards – USEPA</i>	24 Jam	365
			1 Tahun	80

Umumnya kualitas udara dibedakan menjadi beberapa kelas, yaitu baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya. Hal ini sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.45 tahun 1997 mengenai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU).

Tabel 7. Indeks standar pencemar udara (Hidup, M.N.L, 1997)

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0-50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika
Sedang	51-100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif, dan nilai estetika

Tidak sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif tau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika
Sangat tidak sehat	200-290	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen polulasi yang terpapar
Berbahaya	300-lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi

Kualitas udara diberlakukan pada daerah penerima (reseptor) akibat emisi cerobong yaitu daerah sekitar kilang yang terkena sebaran emisi hingga radius 10 km atau 10.000 meter dari masing – masing cerobong. Berdasarkan hasil pemodelan, variasi nilai emisi selain dipengaruhi oleh faktor internal (emisi keluaran dan karakteristik fisik cerobong) juga dipengaruhi oleh faktor eksternal (meteorologi dan topografi). Semakin besar nilai emisi yang dikeluarkan oleh cerobong, maka nilai konsentrasi yang didispersikan juga akan semakin besar. Variasi faktor meteorologi memegang peranan penting yang sama terhadap variasi besaran konsentrasi yang dihasilkan.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa konsentrasi polutan masih berada dibawah baku mutu udara ambien. Hal ini disebabkan konsentrasi keluaran cerobong dari masing – masing polutan berada di bawah baku mutu. Pada interpolasi data konsentrasi setiap zat pencemar, diasumsikan semburan emisi dari cerobong – cerobong di kilang terjadi pada waktu yang sama. Hal ini untuk mengetahui pola dispersi dan konsentrasi polutan pada suatu kawasan yang berasal dari cerobong - cerobong kilang. Pencemaran udara dari setiap parameter pada skenario meteorologi berbeda, jika digabungkan akan dapat menampilkan daerah yang diduga akan sering terkena dampak pencemaran.

Dalam proses mitigasi yang berkaitan dengan aktifitas penanggulangan resiko berdasarkan hasil pemodelan cerobong kilang, penguatan kelembagaan baik pemerintah, masyarakat, dan pihak PT Pertamina (Persero) RU V Balikpapan merupakan faktor kunci. Partisipasi saling memonitor tingkat polusi untuk memastikan pemeriksaan dan standar – standar baku mutu yang ada, serta dalam menyiapkan rencana – rencana evakuasi bila terjadi situasi darurat. Pemantauan berkala (monitoring) prosedur operasional pabrik, perbaikan standar – standar keamanan, perbaikan sistem detektor dan peringatan dini, perencanaan kesiapan memperbaiki kapabilitas penyebaran polusi, dan bantuan emergensi serta perencanaan evakuasi untuk karyawan pabrik dan penduduk terdekat dari operasi pabrik perlu dilakukan dalam proses mitigasi.

Peran Pemerintah Kota Balikpapan dengan melibatkan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) dalam segala aktifitas seperti dalam Rapat Koordinasi pembangunan, pembahasan atau presentasi

Dokumen kajian Lingkungan (AMDAL, UKL dan UPL) diharap dapat turut serta memonitoring dan mencermati pengelolaan lingkungan di kota Balikpapan. Sosialisasi sebagai salah satu bentuk mitigasi terhadap bencana aktifitas pabrik, khususnya dalam mitigasi pencemaran udara masih cukup jarang dilakukan. Sejauh ini, dalam laporan BLH kota Balikpapan maupun dalam laporan RPJP (Rencana Pembangunan Jangka Panjang), maupun peraturan daerah 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah daerah kota Balikpapan, umumnya hanya mencakup hasil pantauan pengukuran kualitas udara ambien, data pengukuran aktifitas keluaran limbah pabrik, serta mitigasi bencana yang mencakup mitigasi bencana alam (banjir, angin puting beliung, longsor), bencana non-alam (kebakaran), dan wabah penyakit menular.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa pemodelan dengan menggunakan persamaan *Gaussian plume* pada skenario dan kelas stabilitas atmosfer dan pada skenario kasus terburuk, akan menghasilkan variasi nilai konsentrasi gas SO_2 yang berbeda. Nilai konsentrasi gas mengalami penurunan nilai seiring perubahan stabilitas atmosfer dari sangat tidak stabil menjadi stabil (A-F) dan jarak perolehan konsentrasi maksimum juga akan semakin jauh dari sumber. Pada pemodelan dispersi skenario kasus terburuk akan memberikan kemungkinan nilai konsentrasi terbesar yang akan didispersikan cerobong pada suatu kawasan.

Pemetaan persebaran konsentrasi emisi gas hasil pemodelan dispersi yang dilakukan berdasarkan arah angin dominan (Utara-Selatan), pada kondisi stabilitas tidak stabil jangkauan kawasan yang rentan mendapat paparan konsentrasi tinggi adalah lebih sempit cakupannya (berada pada kawasan kilang). Pada kondisi stabilitas atmosfer yang semakin stabil, jangkauan paparan terkonsentrasi tinggi semakin luas menjauhi kawasan kilang yang rerata merupakan kawasan pemukiman. Berdasarkan PP No.41 tahun 1999, kondisi sebaran konsentrasi berada dalam kategori aman. Upaya mitigasi penanggulangan resiko berupa pemantauan berkala telah dilaksanakan oleh pihak PT Pertamina (Persero) RU V Balikpapan melalui pemantauan emisi dan udara ambient yang ada di kilang.

DAFTAR PUSTAKA

- API. (2009). *Compendium of greendhouse gas emissions methodology for the oil and natural gas industry*.
- Cheremisinov, P. N. (2002). *Handbook of air pollution prevention and control*, Butterworth-Heinemann, USA.
- Hidup, K. L. (2010). *Pelaksanaan pengendalian pencemaran udara di daerah*. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup, (12).
- Hidup, M. N. L. (1997). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor kep-45/menlh/10/1997 tentang indeks standar pencemar udara*.
- Indonesia, P. R. (1999). *Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang: Pengendalian pencemaran udara*. Lembaran Negara RI Tahun, 86.
- Karbassi, A. R., Abbaspour, M., Sekhavatjou, M. S., Ziviyar, F., & Saeedi, M. (2008). Potential for reducing air pollution from oil refineries. *Environmental Monitoring and Assessment*, 145, 159-166.
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup (KNLH). (2003). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.129 tahun 2003 tentang baku mutu usaha dan atau kegiatan usaha minyak dan gas bumi*, Jakarta.
- Macdonald, R. (2003). *Theory and objectives of air dispersion modelling. Modelling air emissions for compliance*, 1-27.
- Mulia, M. R. (2005). *Kesehatan lingkungan*, Edisi Revisi, Graha Ilmu.