

Pemodelan Polusi Udara dengan Gaussian Plume

Jainal Abidin^{1,a)}, Acep Purqon^{2,b)}

¹Program Studi Magister Sains Komputasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Laboratorium Fisika Bumi,
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} abidinjainal27@gmail.com

^{b)} acep@fi.itb.ac.id

Abstrak

Perkembangan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi telah menghasilkan dampak yaitu dampak positif dan dampak negatif bagi kehidupan manusia. Dampak positif yaitu terjadinya kemudahan dalam aktivitas sehari-hari serta pertumbuhan ekonomi karena tersedianya lapangan pekerjaan. Sedangkan dampak negatif yaitu terjadinya polusi udara yang diakibatkan dari aktivitas manusia, industri, pembangkit listrik, kendaraan bermotor dan lainnya yang menyumbangkan polusi tiap harinya. Dalam penelitian ini, akan dibahas tentang pemodelan polusi udara yang salah satu sumbernya berasal dari cerobong pabrik. Pola sebaran polutan akan dimodelkan dengan Gaussian Plume. Gaussian Plume adalah formulasi matematika untuk menghitung dan simulasi pola sebaran polutan di udara karena turbulensi difusi dan adveksi yang diakibatkan angin. Dalam memodelkan penyebaran konsentrasi dengan menggunakan Matlab akan didapatkan hasil pola sebaran konsentrasi, hal itu didapatkan dengan menginput difusivitas, laju emisi (Q), dan memvariasikan nilai dari tinggi efektif emisi (H). Hasil yang didapatkan adalah pola sebaran konsentrasi, konsentrasi maksimum pada jarak tertentu dan jarak jangkauan yang berbeda akibat adanya variasi dari tinggi efektif emisi (H).

Kata-kata kunci: Polusi Udara, Gaussian Plume

PENDAHULUAN

Peningkatan polusi udara pada masa ini, sangat dipengaruhi oleh peran dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK). Hal tersebut dapat dilihat dengan banyaknya industri, kendaraan bermotor dan pembangkit listrik. Dari perkembangan IPTEK telah menumbuhkan aktivitas ekonomi dan urbanisasi yang cukup tinggi di perkotaan maupun subperkotaan yang mengakibatkan peningkatan konsumsi energi, seperti kebutuhan bahan bakar untuk pembangkit listrik, industri dan transportasi [1]. Peningkatan polusi udara di perkotaan akibat dari aktivitas industri dan lalu lintas kendaraan sehingga diperlukan pemantauan dan pemodelan kualitas udara [2]. Udara yang semakin tercemar akan mengganggu kesehatan manusia, lingkungan dan ekosistem alam. Selain mengganggu kesehatan, polusi udara juga mengakibatkan terjadinya pemanasan global. Pemanasan global sangat berbahaya bagi kelangsungan hidup manusia, diantaranya dapat mengakibatkan penyakit kulit akibat dari penipisan lapisan ozon sebagai pelindung bumi dari radiasi sinar matahari dan pada daerah pantai akan mengalami kenaikan tinggi air laut dan pada daerah kutub akan mengakibatkan pencairan es.

Pada pencemaran udara diperlukan pengetahuan dini tentang perilaku polutan yang sangat penting untukantisipasi, preventif dan regulasi terhadap polusi udara [3]. Seiring dengan ilmu pengetahuan saat ini, pola sebaran polutan sudah dapat disimulasikan dengan beberapa metode yang salah satunya dengan *Gaussian Plume*. Pemodelan dengan menggunakan *Gaussian Plume* ini, digunakan untuk menggambarkan pola sebaran dari konsentrasi polutan, konsentrasi maksimum dan jarak jangkauan sebaran konsentrasi dari polutan dengan memvariasikan nilai dari tinggi efektif emisi (H). Tinggi efektif emisi adalah hasil tambah antara tinggi cerobong dan tinggi semburan emisi polutan.

METODE

Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah udara bersih yang terkontaminasi zat pencemar di udara yang dapat mengganggu kesehatan manusia, menghasilkan dampak berbahaya bagi ekosistem dan dapat mengakibatkan perubahan iklim [4,5]. Sejumlah zat yang dilepaskan ke udara oleh aktivitas industri dan kegiatan lainnya yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan disebut pencemaran udara. Udara bersih adalah udara yang tidak berbau, tidak berwarna serta kualitasnya layak untuk pernapasan. Pencemaran udara setiap hari secara terus-menerus dilepaskan ke udara dari aktivitas manusia, industri dan kendaraan bermotor. Adapun karena sifat alami udara yang bisa menyebar tanpa ada batasan ruang, membuat dampak pencemaran udara bisa bersifat lokal, kawasan maupun global. Udara yang tercemar seringkali tidak tertangkap oleh panca indra kita dan potensi bahayanya tetap ada. Salah satu bentuk pencemaran udara yang dapat dilihat yaitu gas buangan hasil pembakaran yang berbentuk asap tebal hitam yang berarti komponen partikel di dalam asap tersebut sangat banyak.

Dan apabila udara tercium sangat menyengat atau bahkan terasa sesak pada dada akibat mencium bau pencemar, pencemaran udara sudah sangat tinggi dan mungkin saja akan menjadi racun yang mematikan. Pencemaran udara semakin memburuk seiring dengan kemajuan teknologi, dimana dengan adanya kemajuan teknologi sehingga sumber penghasil polusi udara semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dari semakin banyaknya pabrik-pabrik, industri, kendaraan bermotor dan pembangkit listrik yang setiap harinya menyumbang emisi polusi udara. Dari pencemaran ini, sangat banyak pihak yang dirugikan akibat udara yang tidak bersih untuk pernapasan, ketidaknyamanan, gangguan pada kesehatan, kerusakan lingkungan dan juga sebagai pemicu pemanasan global.

Sumber Pencemaran Udara

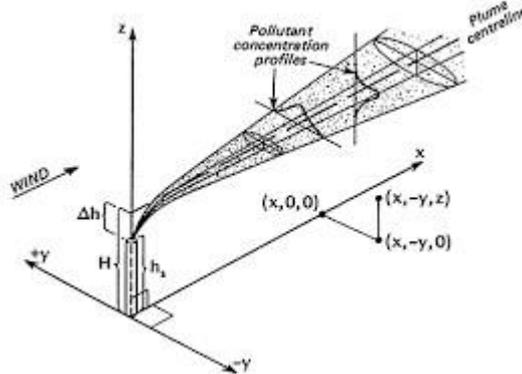
Ditinjau dari sifat pencemar udara terdapat 3 jenis yaitu sumber titik (*point source*), sumber kawasan (*area source*), dan sumber garis (*line source*). Sumber titik adalah sumber pencemar yang berasal dari sumber stasioner dan dapat diidentifikasi keberadaannya, misalnya emisi gas dari cerobong pabrik. Sumber kawasan adalah sumber pencemar yang berasal dari beberapa sumber titik yang berdekatan atau berasal dari sumber yang bergerak, misalnya pencemaran yang diakibatkan kepadatan lalu lintas. Sumber garis adalah sumber yang berasal dari emisi yang berbentuk garis, misalnya gas buang dari mobil atau sepeda motor ketika bergerak.

Zat-zat Pencemar Udara

Berdasarkan karakteristik fisiknya, zat pencemar dibedakan atas partikular (aerosol) dan zat pencemar dalam bentuk gas. Partikular maupun zat pencemar dalam bentuk gas dapat tersusun dari senyawa anorganik dan organik. Beberapa zat yang terdapat pada polutan yang mengakibatkan pencemaran udara diantaranya karbon monoksida, karbon dioksida, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, hidrokarbon, chlorofluorocarbon, timbal dan partikular. Zat-zat tersebut dihasilkan dari aktivitas manusia, salah satu contohnya adalah gas sulfur dioksida yang dihasilkan dari hasil aktivitas pembakaran industri dan pembangkit listrik yang berbahan bakar batubara. Sulfur dioksida adalah gas berbau tajam, tidak berwarna dan tidak bersifat korosi hasil dari pembakaran bahan bakar batubara.

Dispersi Gauss (*Gaussian Plume*)

Dalam proses simulasi penyebaran partikel di atmosfer telah dikembangkan beberapa model numerik untuk dispersi yaitu model statistik dan model numerik fisik. Perilaku partikel pada terowongan angin (*wind tunnel*) dapat dijelaskan dengan menggunakan model numerik fisik. Simulasi penyebaran partikel di udara dapat dijelaskan dengan menggunakan model numerik statistik, pada model numerik statistik dapat menggunakan dispersi Gauss pada penyebaran partikel. Model dispersi polusi udara digunakan pada penyebaran konsentrasi, analisis resiko, perencanaan darurat, dampak lingkungan dan sumber pencemarnya [6]. Bentuk dispersi secara umum mengikuti hukum difusi yaitu terjadinya perubahan dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Adanya zat pencemar di udara bersih yang berasal dari emisi gas buang, baik yang berasal secara alami maupun berasal dari aktivitas manusia. Model dispersi udara merupakan serangkaian persamaan matematika yang menggambarkan perilaku gas/partikel yang dipancarkan ke udara dan digunakan untuk menghitung konsentrasi polutan pada berbagai titik di sekitar sumber emisi [7].



Gambar 1. Pola sebaran asap dengan dispersi Gauss
 Sumber : http://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/pubs/figure2-2_3.gif

Sebuah pendekatan yang digunakan dalam mempelajari polutan di udara dengan memperkirakan konsentrasi pencemar di udara berdasarkan emisi, proses kimia dan bentuk fisiknya serta adanya turbulen difusi dan adveksi yang disebabkan oleh angin [8,9]. Pada gambar 1, dapat dilihat ilustrasi proses penyebaran konsentrasi polutan yang salah satu sumber emisinya berasal dari cerobong pabrik. Polusi udara yang dilepaskan dari cerobong pabrik akan disebarkan oleh angin dalam arah x, pada arah y adalah lebar dari sebaran polutan dan arah z adalah tinggi dari polutan. Sedangkan H adalah tinggi efektif emisi yang hasil tambah antara tinggi cerobong pabrik dengan tinggi semburan emisi.

Model *Gaussian Plume* sering digunakan dalam memodelkan dispersi polutan secara kontiniu dari permukaan atau dataran tinggi. Sehingga dispersi polutan ini memiliki distribusi probabilitas normal yang kurvanya berbentuk bel atau lonceng. Dalam melakukan analisis sebaran konsentrasi dengan *Gaussian Plume* dalam kondisi *steady state* yang persamaannya adalah [10] :

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}v\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\left[\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2 + \left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right]\right] \quad (1)$$

Dimana:

- $c(x,y,z)$ = konsentrasi polutan pada titik x,y,z (g/m^3)
- Q = laju emisi polutan (g/s)
- v = kecepatan angin (m/s)
- σ_y = tetapan dispersi secara horizontal terhadap sumbu x (m)
- σ_z = tetapan dispersi secara vertikal terhadap sumbu x (m)
- x = jarak jatuhnya polutan (m)
- y = jarak pengamatan sejajar dengan sumbu x (m)
- z = jarak pengamatan tegak lurus dengan sumbu y (m)
- H = tinggi efektif emisi (m)

Selanjutnya dengan mensubstitusikan $\sigma_y = \sqrt{2D_yx}$ dan $\sigma_z = \sqrt{2D_zx}$ ke dalam persamaan 1 sehingga akan didapatkan:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi x \sqrt{\sigma_y \sigma_z}} \exp\left(-\frac{vy^2}{4xD_y}\right) \left[\exp\left(\frac{v(z-H)^2}{4xD_z}\right) + \exp\left(\frac{v(z+H)^2}{4xD_z}\right) \right] \quad (2)$$

Dalam pemodelan ini diterapkan untuk level konsentrasi pada permukaan tanah (*Ground Level Concentration*) dengan nilai $z = 0$, sehingga akan didapatkan persamaannya yaitu:

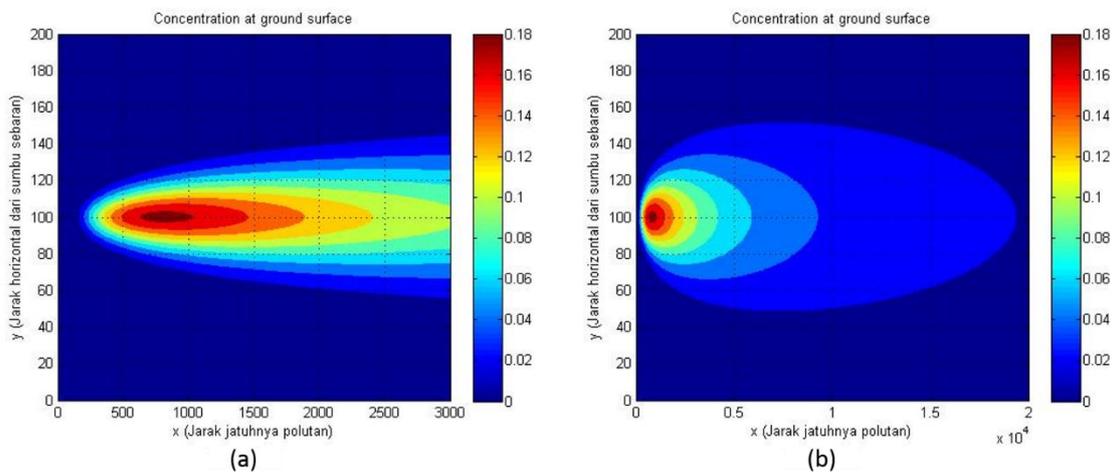
$$c(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi x \sqrt{\sigma_y \sigma_z}} \exp\left(-\frac{vy^2}{4xD_y}\right) \left[\exp\left(\frac{v(H)^2}{4xD_z}\right) + \exp\left(\frac{v(H)^2}{4xD_z}\right) \right] \quad (3)$$

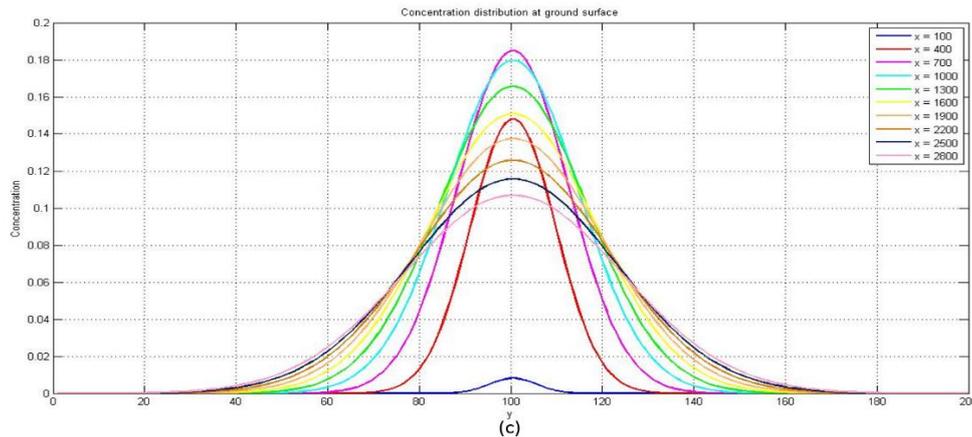
Selanjutnya dari persamaan diatas, akan digunakan untuk pemodelan polusi udara yang sumbernya berasal dari cerobong pabrik. Hasil yang dicari adalah pola sebaran konsentrasi, konsentrasi maksimum dan jarak jangkauan dari sebaran polusi udara tersebut. Dalam pemodelan ini memiliki beberapa asumsi yaitu emisi dari cerobong konstan dalam waktu dan kemiringan dan permukaan relatif datar, pada kecepatan angin utama adveksi mendominasi daripada difusi, ketika polutan menyentuh tanah tidak diserap melainkan dipantulkan, reaksi yang melibatkan senyawa pencemar di udara diabaikan, dan kondisi pencemar *steady state* atau tidak berubah terhadap waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola sebaran polutan dimodelkan dengan Gaussian Plume dan pemograman menggunakan Matlab, untuk menggambarkan pola sebaran konsentrasi polutan akibat adanya semburan polutan yang berasal cerobong pabrik. Pada penelitian ini dilakukan pada level konsentrasi tanah (*Ground Level Concentration*), serta dengan memvariasikan tinggi efektif emisinya (H). Variasi H dilakukan pada $H = 40$ m, $H = 50$ m, $H = 60$ m, $H = 70$ m, $H = 80$ m, dan $H = 100$ m. Sedangkan untuk laju emisi polutan (Q) didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Yayat Ruhiat pada PT. Indonesia Power yang memakai bahan bakar batubara, dimana $Q = 1133,33$ gr/det untuk sulfur dioksida (SO_2) [11]. Berikut hasil dari pemodelan polusi udara dengan *Gaussian Plume* yang menunjukkan sebaran dan penurunan konsentrasi maksimum, jarak jangkauannya serta grafik distribusi konsentrasi polutan.

Untuk $H = 40$ m

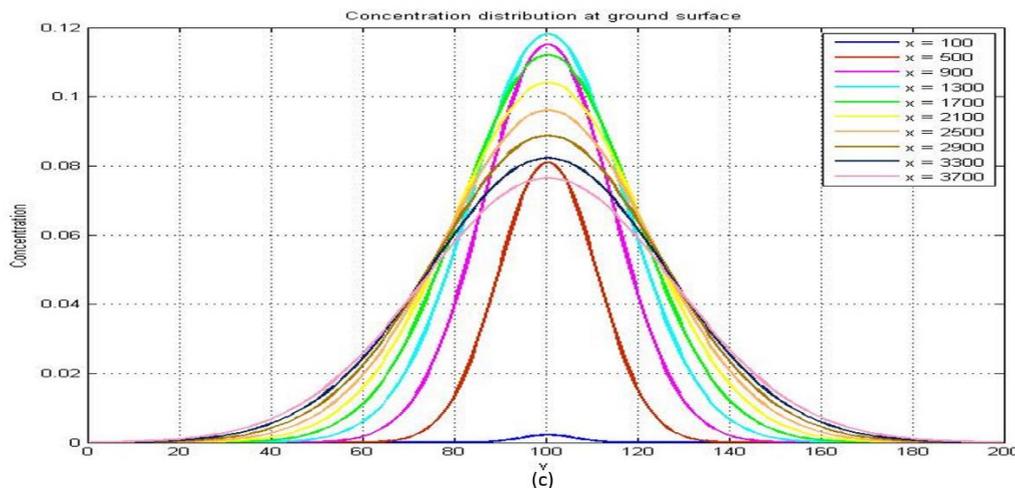
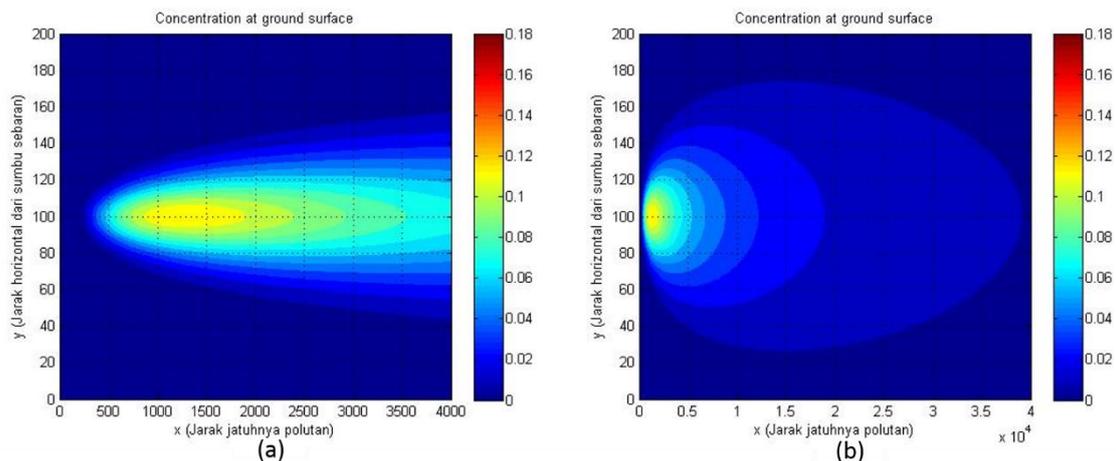




Gambar 2. Untuk $H = 40\text{m}$, (a) dengan $x = 3000\text{ m}$, (b) dengan $x = 20000\text{ m}$ serta (c) grafik distribusi konsentrasi polutan.

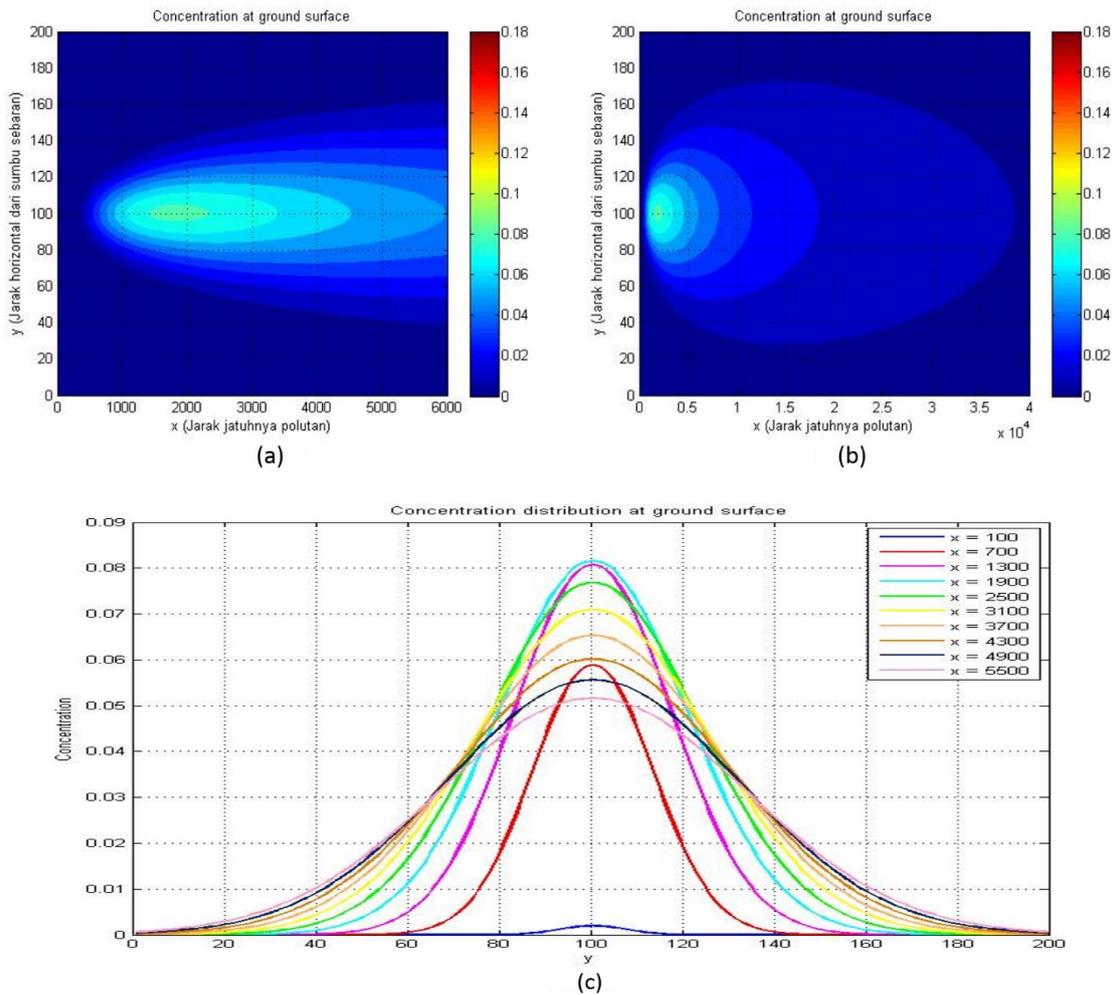
Dari gambar 2 didapat pola sebaran polutan untuk tinggi efektif emisi (H) = 40 m. Gambar 2(a) menjelaskan konsentrasi maksimumnya polutan pada jarak $x = 3000\text{ m}$, gambar 2(b) menjelaskan jarak jangkauan polutan pada jarak $x = 20000\text{ m}$, dan gambar 2(c) grafik distribusi konsentrasi polutan yang menyatakan besar konsentrasi polutan terhadap jarak jangkauannya. Sehingga dari gambar 2 tersebut dapat dilihat konsentrasi maksimum dan jarak jangkauan polutan jika tinggi efektifnya 40 m.

Untuk $H = 50\text{ m}$



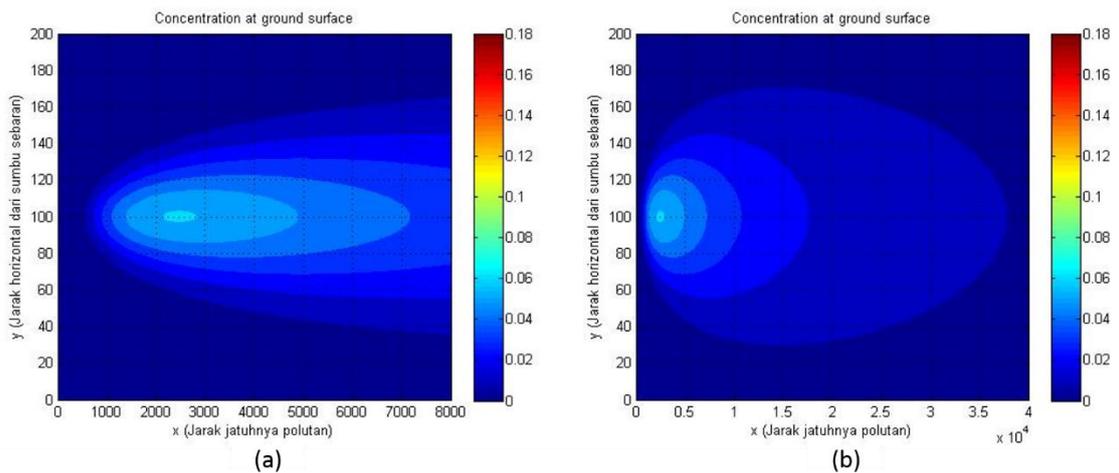
Gambar 3. Untuk $H = 50\text{ m}$, (a) dengan $x = 4000\text{ m}$, (b) dengan $x = 40000\text{ m}$ serta (c) grafik distribusi konsentrasi polutan

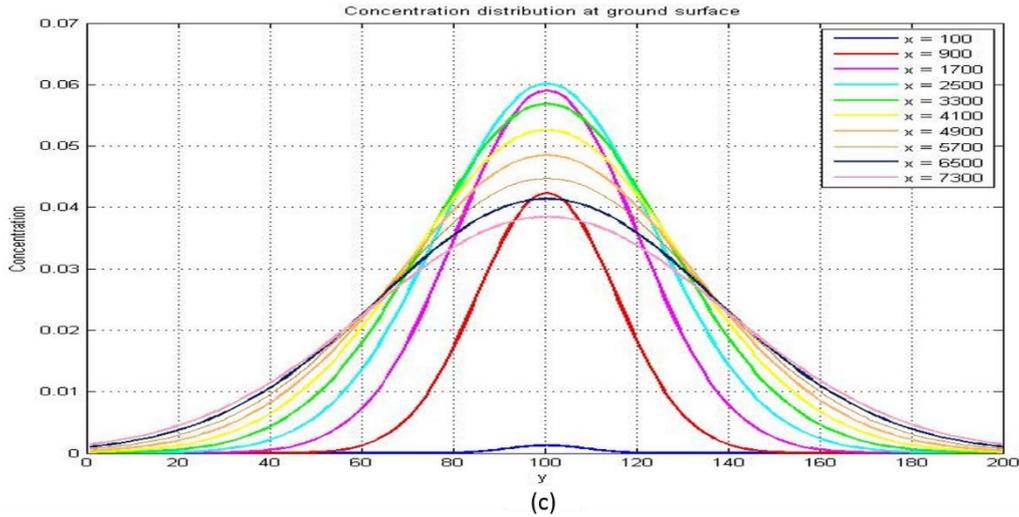
Untuk $H = 60\text{ m}$



Gambar 4. Untuk $H = 60$, (a) dengan $x = 6000$ m, (b) dengan $x = 40000$ m serta (c) grafik distribusi konsentrasi polutan

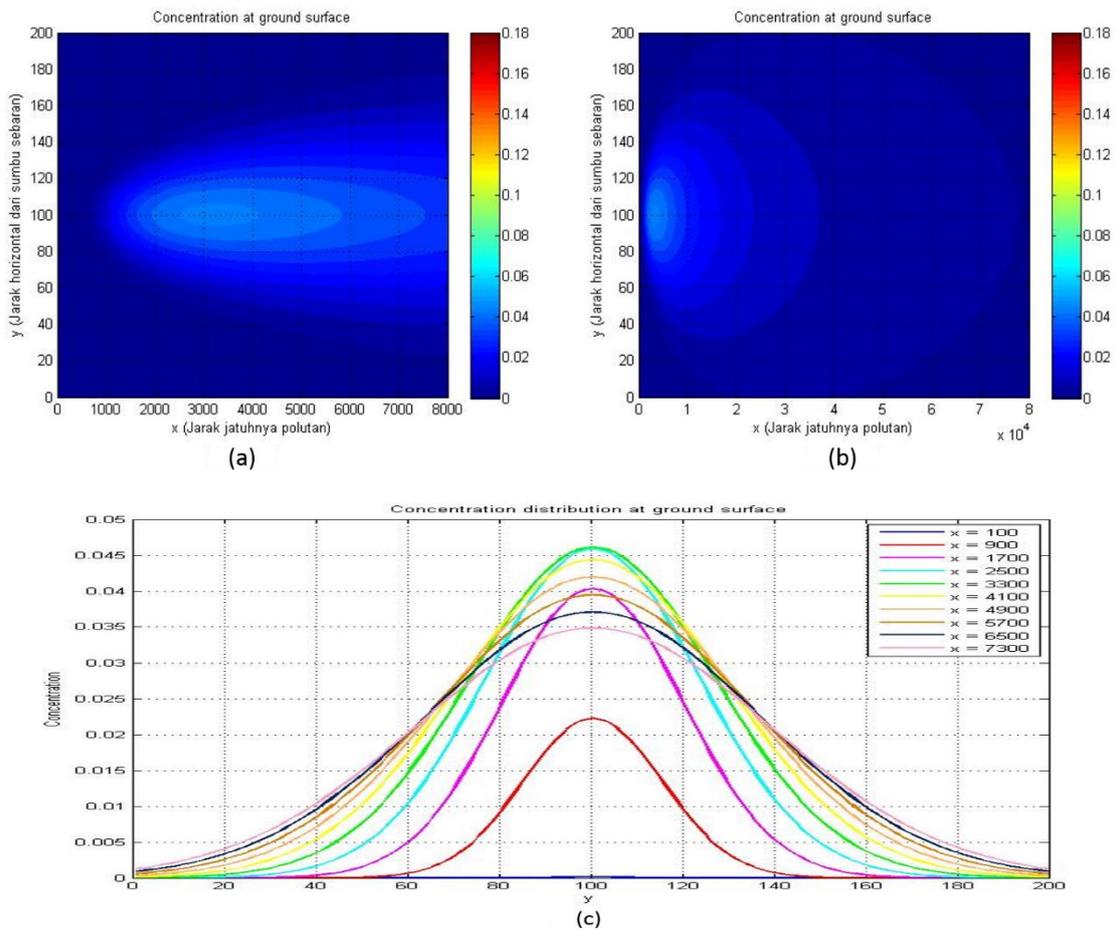
Untuk $H = 70$ m





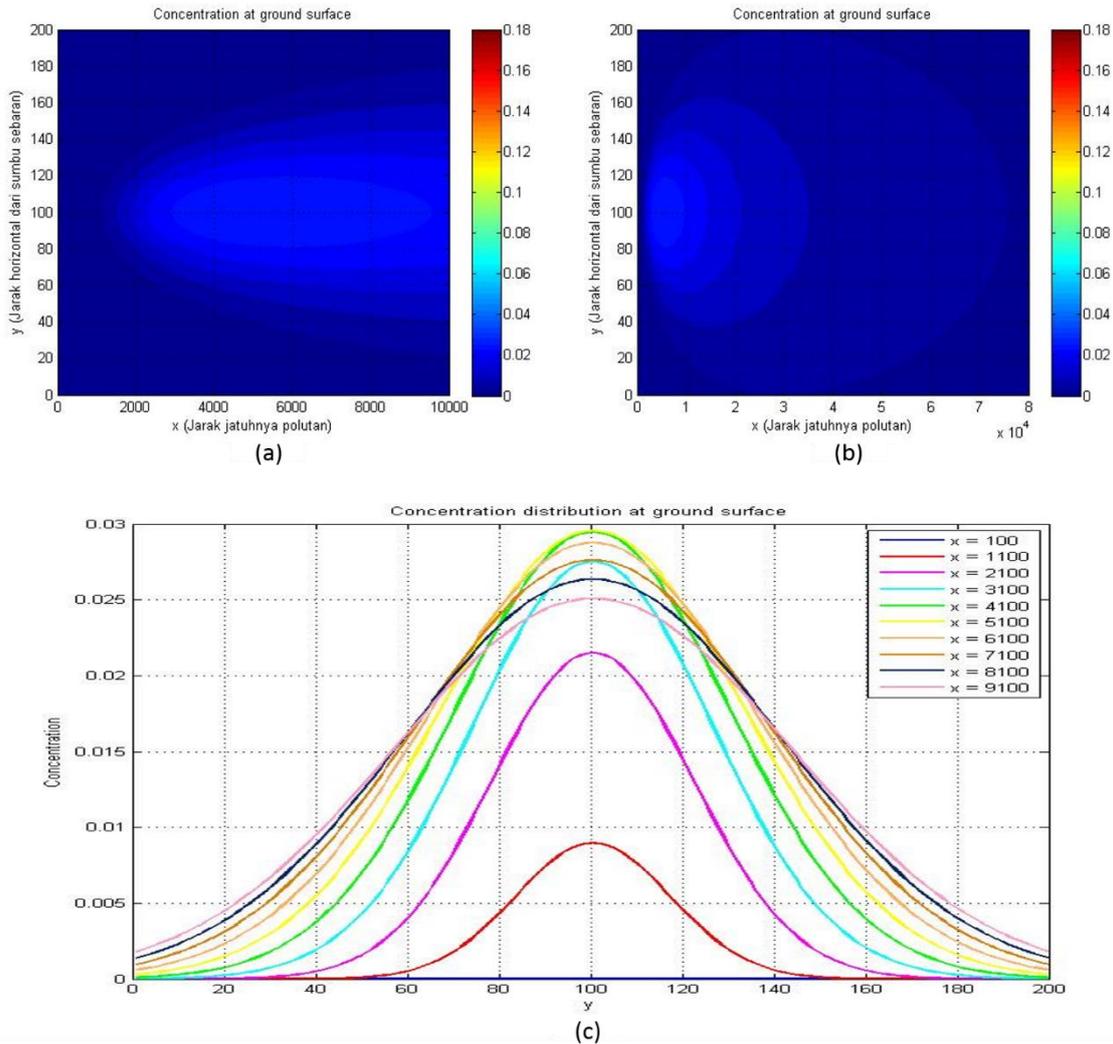
Gambar 5. Untuk $H = 70$ m, (a) dengan $x = 8000$ m, (b) dengan $x = 40000$ m serta (c) grafik distribusi konsentrasi polutan

Untuk $H = 80$ m



Gambar 4. Untuk $H = 80$ m, (a) dengan $x = 8000$ m, (b) dengan $x = 80000$ m serta (c) grafik distribusi konsentrasi polutan

Untuk $H = 100$ m



Gambar 7. Untuk $H = 100$ m, (a) dengan $x = 10000$ m, (b) dengan $x = 80000$ m serta (c) grafik distribusi konsentrasi polutan

Pada gambar 3 yaitu pada $H = 50$ m telah terjadi penurunan konsentrasi, hal ini dapat dilihat dari perubahan warna sesuai dengan *color bar* yang menyatakan nilai konsentrasinya pada gambar 3 dan jarak jangkauannya juga semakin jauh dibandingkan pada gambar 2. Perubahan nilai konsentrasi akibat semakin besarnya nilai H , sehingga pada gambar 4 yaitu pada $H = 60$ m dan gambar 5 yaitu pada $H = 70$ m juga mengalami penurunan konsentrasi dan konsentrasi maksimumnya semakin jauh dibandingkan pada gambar 3 dan jarak jangkauannya tetap sama dengan gambar 3. Pada gambar 6 yaitu pada $H = 80$ m konsentrasi semakin mengecil dan jarak dari konsentrasi maksimumnya semakin jauh dan jarak jangkauannya semakin jauh dibandingkan dari hasil sebelumnya, sedangkan pada gambar 7 yaitu pada $H = 100$ m juga konsentrasi semakin mengecil dengan konsentrasi maksimum yang semakin menjauh sebagai akibat dari semakin tingginya tinggi efektif dari emisi yang berasal dari cerobong.

Dari hasil diatas, dapat dilihat bentuk pola sebaran polutan yang berasal dari cerobong pabrik. Dengan adanya variasi dari tinggi efektif emisi (H), sehingga dapat diketahui penurunan konsentrasi, jarak dari konsentrasi maksimum serta jarak jangkauan polutan tersebut. variasi $H = 40$ sampai $H = 100$ mengakibatkan warna dari sebarannya telah menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi dimana konsentrasi tertinggi memiliki warna merah seperti pada *color bar* yang ada pada gambar. Selain penurunan konsentrasi dan jarak jangkauan, semakin besarnya nilai H juga mengakibatkan semakin lebarnya sebaran polutan.

KESIMPULAN

Dari pemodelan polusi udara dengan menggunakan dispersi gauss atau *Gaussian Plume* yang salah sumbernya berasal dari cerobong asap pabrik dapat digunakan untuk mempelajari pola sebaran konsentrasi polutan. Tinggi efektif emisi (H) sangat mempengaruhi perubahan konsentrasi dari polutan. Ketika H diperkecil akan mengakibatkan konsentrasi polutan semakin membesar dan jarak jangkauannya semakin sekat dengan sumber emisi. Sebaliknya ketika H diperbesar akan mengakibatkan konsentrasi polutan akan semakin mengecil dan jarak jangkauannya akan semakin menjauh dari sumber emisi. Sehingga sangat dianjurkan dalam pembangunan cerobong pabrik untuk dibuat sangat tinggi untuk mengurangi emisi polusi udara disekitar cerobong.

REFERENSI

1. A. Budiyo, *Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara pada Lingkungan*. Berita Dirgantara Vol.2 no.1 (2001)
2. S. Awasthi., M. Khare., dan P. Gargava, *General Plume Dispersion Model (GPDM) for Point Source Emission*. Enviromental Modeling and Assessment, Springer (2006).
3. T. Nauli, *Pola Sebaran Polutan dari Cerobong Asap*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN, Yogyakarta (2002).
4. D. N. Vallero, *Fundamental of Air Pollution*. Elsevier, USA 92008).
5. M. Lazaridis, *First Principles of Meteorology and Air Pollution*. Enviromental and Air Pollution Vol.10, Springer, London (2010).
6. R. Macdonald, *Theory and Objective of Air Dispersion Modeling. Modeling Air Emissions for Compliance*. MME 474A Wind Engineering (2003).
7. N. Lokeshwari., G. Sriniketthan., dan V. S. Hegdec, *Modeling of Pollutans from a Point Source: A Case Study from Coke*. International Journal of Current Engineering and Tecnology, ISSN 2277-4106 (2011).
8. N. S. Holmes., dan L. Morawaka, *A Review of Dispersion Modeling and Its Application to The Dispersion of Particles: An Overview of Different Dispersion Models Available*. Atmosphere Enviromental 40 (2006).
9. J. M. Stockie, *The Mathematics of Atmospheric Dispersion Modeling*. SIAM Review. Vol 53, No. 2 pp. 349-372 (2011).
10. E. Holzbecher, *Enviromental Modeling Using Matlab*. Springer, London (2012).
11. Y. Ruhiat, *Penyebaran Pencemaran Udara Di Kawasan Industri Cilegon*. Jurnal Agromet Indonesia (2008).