

PREDIKSI POLA SEBARAN *PLUME RISE* PADA VARIASI KECEPATAN EMISI GAS BUANG *CHIMNEY* DENGAN SIMULASI KOMPUTER

Muhammad Nur Shobakh

Mahasiswa S1
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
mnurshobakh@gmail.com

Agung Sugeng Widodo

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
agung_sw@ub.ac.id

One of the most significant current issues that endangers environment is air pollution from industrial chimney emissions. In certain condition, the mathematical models to analyze this problem is the Gaussian Plume Model (GPM), which is a model of air pollutant distribution that takes place under constant conditions and is based on the Gaussian distribution. This model was developed based on the diffusion equation to determine the pollutant concentration from a single point source located at a certain altitude and terrain. The aim of this research was to investigate Simulating the dispersion pattern of pollutant gas plume rise from the chimney to the environment using Ansys Workbench software, analyze the shape of the plume rise dispersion pattern and investigate factors influence the plume rise in the chimney. The results showed that the plume rise dispersion pattern that occurred in this study is lofting. The higher the velocity of exhaust emissions coming out of the chimney, the higher the plume rise that occurs into the atmosphere. The factors that can affect the plume rise dispersion pattern in the chimney are the wind speed factors, the atmospheric air temperature factors, and the air stability factors.

Keywords : *Chimney, Plume Rise, Dispersion Pattern, Ansys Workbench, Lofting*

1. PENDAHULUAN

Industri merupakan salah satu sektor dominan yang mempengaruhi stabilitas perekonomian suatu negara. Hal ini kemudian menjadikan pemerintah untuk mengatur dalam hal perberdayaan negara akan semakin ketat. Hal ini dilakukan untuk mengarahkan para pelaku industri agar berorientasi pada industri yang berteknologi ramah lingkungan dan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam yang dikelola sehingga pemberdayaan sumber daya alam dapat dioptimalkan secara berkelanjutan [1-3].

Pencemaran udara akibat aktivitas cerobong asap menjadi salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh dunia industri. Salah satu model matematika untuk menganalisa masalah tersebut adalah *Gaussian Plume Model (GPM)*, dimana model matematika tersebut dapat melakukan kalkulasi penyebaran pencemaran udara yang berlangsung dalam kondisi tetap dan berdasarkan distribusi Gaussian. Dengan menggunakan persamaan difusi dalam penentuan konsentrasi polutan dari sebuah sumber tertentu dan ketinggian tertentu model ini kemudian dikembangkan dan diaplikasikan. [4-6]. Model ini diaplikasikan menggunakan software Matlab 7.12 [7].

Emisi gas yang dapat ditemukan dari cerobong seperti karbon monoksida, sulfur dioksida, dan nitrogen dioksida akan mengalami pengangkutan, percampuran dan penyebaran (dispersi) sesuai dengan dinamika udara. Dewasa ini ada beberapa model yang telah dikembangkan dalam mensimulasikan prediksi pola penyebaran gas atau zat kimia yang dipancarkan ke udara. Salah satunya adalah *Computational Fluent Dynamic (CFD)* atau model fluent [8-11].

Penelitian-penelitian sebelumnya pendekatan model Gauss Ganda telah di gunakan dan hasilnya dibandingkan dengan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan model fluent. Pada penelitian ini, akan dilakukan studi simulasi dispersi pola *plume rise* gas polutan dari sebuah *chimney* ke lingkungan dengan menggunakan software simulasi Ansys Workbench sebagai pembeda dari penelitian sebelumnya [12]. Studi simulasi ini diharapkan dapat mengetahui pola sebaran emisi polutan sehingga dapat diantisipasi dampak

negatif yang muncul akibat proses kegiatan industri [13].

2. METODE PENELITIAN

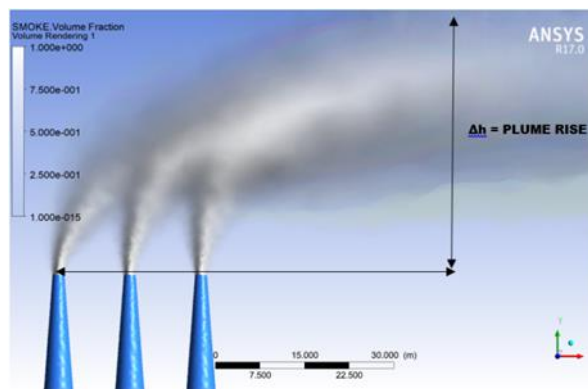
Pada penelitian ini akan digunakan metode simulasi berbasis komputasi dengan data-data sekunder yang ditentukan oleh peneliti yang digunakan dalam merancang pemodelan geometri. Software yang digunakan adalah software Ansys Workbench dilakukan untuk memperoleh profil pola sebaran dispersi *plume rise* setelah keluar *chimney*. Setelah profil diperoleh maka dapat dilakukan analisa faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi terjadinya *plume rise*.

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan emisi gas buang smoke saat keluar *chimney* yaitu $VS1 = 10 \text{ ms}^{-1}$; $VS2 = 20 \text{ ms}^{-1}$; $VS3 = 30 \text{ ms}^{-1}$. Untuk Variabel terikat adalah variabel terikat pada penelitian ini adalah Pola Sebaran *Plume rise* Pada *Chimney*. Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian dan konstan. Sedangkan untuk variable terkontrol yang di gunakan dalam penelitian ini, yaitu : kecepatan angin uniform : 1.6 ms^{-1} , temperatur udara sekeliling dianggap konstan pada 303 K. Temperatur emisi gas buang pada saat keluar *Chimney* ditetapkan sebesar 433 K. Tekanan udara konstan adalah 1 atm dan arah aliran angin searah horizontal.

Proses simulasi dilakukan pada sebuah komputer dengan spesifikasi Processor Intel Core i5-4210U 1.70GHz (4CPUs), video Nvidia Geforce 840M, RAM 12 GB, Hard disk 1 TB, Operating System Microsoft Windows 10. Untuk desain gambar penelitian akan digunakan software Autodesk AutoCAD dan untuk proses simulasi akan digunakan Software Simulasi Ansys Workbench.

3. HASIL DAN DISKUSI

Data ini merupakan hasil penelitian untuk pengujian simulasi pola sebaran *plume rise* saat keluar *chimney* dengan bantuan software Ansys Workbench dengan solver CFX [14] sebagai pemecah utamanya. Simulasi 3D dilakukan dengan 3 macam timestep, yaitu : 0 s, 15 s, dan 30 s.



Gambar 1: Smoke Volume Fraction *Plume rise* Detail.

Perhitungan *plume rise* akan dilakukan dengan menggunakan asumsi sebagai berikut : penyebaran kepulan asap memiliki distribusi normal, kecepatan angin serta arahnya dianggap seragam, proses penyebaran di anggap steady dan tidak membahas masalah reaksi kimia yang terjadi dengan menggunakan Formula Holland's [15] :

$$\Delta h = \frac{V_s D}{u} \left[1.5 + 0.00268 P D \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \right] \quad (1)$$

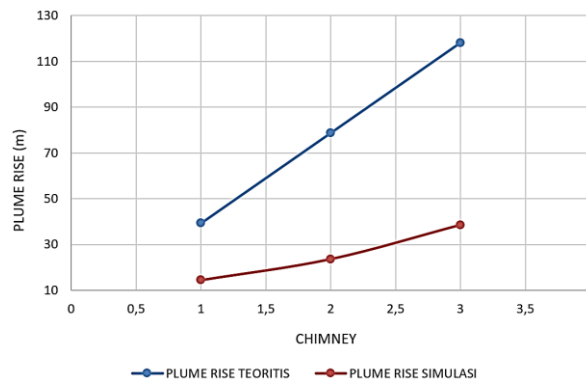
Dimana V_s adalah kecepatan emisi gas buang (m/s), D adalah diameter *chimney* (m), u adalah kecepatan angin (m/s), P adalah tekanan (kPa), T_s adalah temperature udara *chimney* (K) and T_a adalah udara sekitar (K). Dengan data-data yang digunakan adalah sebagai berikut : dengan $VS1 : 10 \text{ m/s}$; $VS2 : 20 \text{ m/s}$; $VS3 : 30 \text{ m/s}$, $D : 2 \text{ m}$; $u : 1,6 \text{ m/s}$; $P : 1 \text{ atm}$, $T_s : 433 \text{ K}$.

Dari data tersebut di atas di dapatkan hasil *Plume rise* secara teoritis dan simulasi yang terdapat pada Tabel 1.

Table 1. Data *Plume rise* Secara Teoritis dan Simulasi

<i>PLUME RISE</i>		
<i>Chimney</i>	Teoritis (M)	Simulasi (M)
1	39,37	14,51
2	78,75	23,68
3	118,12	38,56

Ta : 301 K



Gambar 2: Grafik Hasil *Plume rise* Teoritis Terhadap *Plume rise* Simulasi

Gambar 2. adalah grafik hubungan hasil perhitungan *plume rise* secara teoritis dengan hasil *plume rise* yang didapatkan dari hasil simulasi, dimana parameter input untuk kecepatan emisi gas buang yang keluar dari *chimney* pada Ansys Workbench adalah sebagai berikut: pada *Chimney 1* VS1 = 10 m/s, pada *Chimney 2* VS2 = 20 m/s, dan pada *Chimney 3* VS3 = 30 m/s. Kecepatan udara di atmosfer = 1,6 m/s. Temperatur udara di lingkungan = 303 K dan Temperatur emisi gas buang saat keluar *chimney* = 433 K.

Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan emisi gas buang keluar *chimney* maka semakin tinggi kenaikan *plume rise* yang terjadi. Hal tersebut, dapat dilihat dari nilai *plume rise* baik secara teoritis maupun simulasi nilai terbesar terletak pada *chimney 3* dan nilai terkecil teletak pada *chimney 1*. Kecepatan emisi gas buang saat keluar dari *chimney* menjadi factor yang sangat berpengaruh terhadap kenaikan *plume rise*.

Pada Gambar 2. terdapat penyimpangan antara nilai *plume rise* secara teoritis yang lebih tinggi dibandingkan nilai *plume rise* secara simulasi, hal tersebut bisa terjadi akibat faktor kecepatan angin di udara yang berubah-ubah, sebaran kepulan asap yang keluar dari *chimney* dalam kondisi yang unsteady atau tidak stabil dan faktor karakteristik dari bentuk *chimney* sehingga membuat penurunan kenaikan *plume rise* pada hasil simulasi.

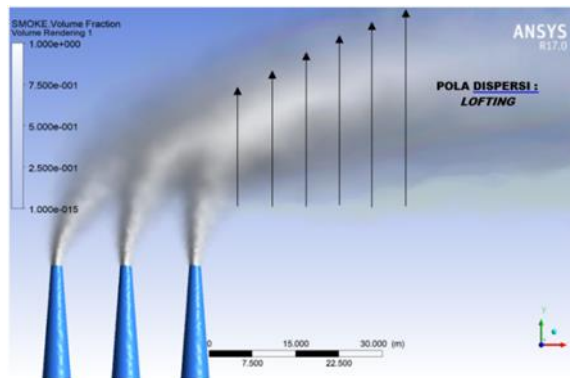
Table 2. Data Hubungan Temperature Terhadap *Plume rise*

TChim (m)	TC1 (K)	TC2 (K)	TC3 (K)	Tad (K)
0	301,1	294,4	292,1	433,0
5	301,1	301,2	313,1	428,6
10	301,5	301,1	320,7	421,8
15	290,9	286,1	320,6	414,6
20	432,7	432,2	431,5	408,1
25	430,2	431,7	432,1	403,3
30	422,3	427,5	429,9	400,7
35	413,4	421,3	426,9	398,1
40	406,8	415,2	422,3	396,0

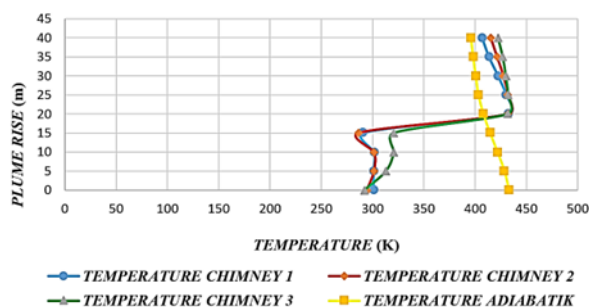
Faktor kecepatan angin dapat menyebabkan hasil *plume rise* simulasi lebih kecil dibandingkan hasil *plume rise* secara teoritis adalah akibat adanya faktor momentum rise dimana proses ketinggian *plume rise* dipengaruhi oleh gaya dorong kecepatan emisi gas buang keluar dari *chimney*. Dimana kecepatan angin di sekitar *chimney* lebih besar dibandingkan dengan kecepatan angin dalam kondisi atmosfer.

Faktor karakteristik bentuk geometri *chimney* dapat mempengaruhi hasil *plume rise*, semakin tinggi dimensi geometri *chimney* maka *plume rise* yang dihasilkan akan semakin kecil, Dengan bentuk yang seperti kerucut, dengan diameter keluaran *chimney* yang semakin kecil maka emisi gas buang yang keluar dari *chimney* juga akan semakin sedikit.

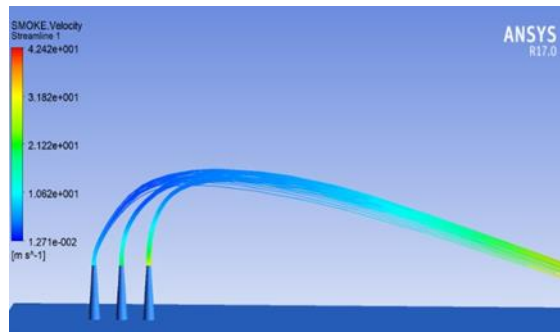
Faktor lain yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil *plume rise* adalah faktor buoyancy effect yaitu, proses terjadinya perbedaan suhu antara temperatur emisi gas buang saat keluar dari *chimney* yang lebih besar dibandingkan dengan temperatur yang ada di udara sekitar.



Gambar 3. *Smoke Volume Fraction Lofting* Detail pada Ansys Workbench



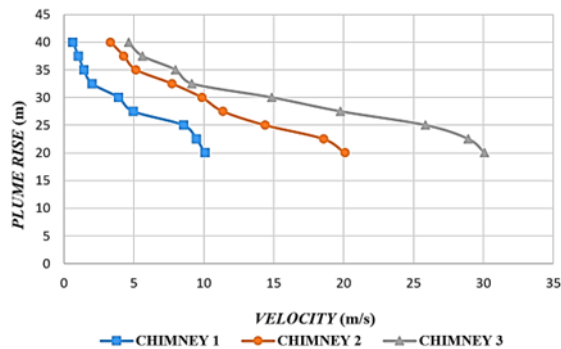
Gambar 4. Grafik Hubungan Temperature Terhadap *Plume rise*



Gambar 5. *Streamline Smoke Velocity All Chimney* pada Ansys Workbench

Table 2. Data Hubungan Temperature Terhadap *Plume rise*

TChim (m)	VC1 (K)	VC2 (K)	VC3 (K)
20	10,0	20,0	30,0
22,5	9,4	18,5	28,9
25	8,5	14,3	25,8
27,5	4,9	11,3	19,7
30	3,8	9,8	14,8
32,5	2,0	7,7	9,1
35	1,4	5,1	7,9
37,5	1,02	4,2	5,6
40	0,6	3,3	4,6



Gambar 6. Grafik Hubungan *Velocity* Terhadap *Plume rise*

Gambar 6. adalah grafik hubungan antara plume rise dengan kecepatan emisi gas buang yang didapatkan dari hasil simulasi. Dimana parameter input untuk variasi kecepatan emisi gas buang yang keluar *chimney* pada Ansys Workbench yaitu: pada *Chimney 1* VS1 = 10 ms-1, pada *Chimney 2* VS2 = 20 ms-1, dan pada *Chimney 3* VS3 = 30 ms-1.

Pada Tabel 3. terlihat bahwa nilai velocity pada *chimney 1*, 2 dan 3 cenderung mengalami penurunan seiring dengan semakin tingginya *plume rise*. Pada *Chimney 1* dengan VS1 = 10 ms-1 nilai velocity terendah sebesar : 0,6 ms-1 dan nilai velocity tertinggi sebesar : 10,1 ms-1. Pada *Chimney 2* VS2 = 20 ms-1 nilai velocity terendah sebesar : 3,36 ms-1 dan nilai velocity tertinggi sebesar : 20,1 ms-1. Pada *Chimney 3* VS3 = 30 ms-1 nilai velocity terendah sebesar : 4,6 ms-1 dan nilai velocity tertinggi sebesar : 30,1 ms-1.

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari grafik, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi *plume*

rise maka kecepatan emisi gas buang yang keluar *chimney* akan semakin berkurang. Hal tersebut bisa terjadi akibat adanya faktor momentum *rise* akibat perbedaan antara kecepatan angin di atmosfer yang lebih kecil bertemu dengan kecepatan emisi gas buang yang keluar dari *chimney* yang lebih besar sehingga mengakibatkan penurunan velocity terhadap *plume rise*.

4. KESIMPULAN

Simulasi untuk memprediksi pola sebaran *plume rise* akibat variasi kecepatan emisi gas buang keluar *chimney* dengan menggunakan bantuan Software Ansys Workbench telah dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa pola sebaran *plume rise* yang terjadi pada penelitian ini adalah berbentuk *lofting*. Semakin cepat emisi gas buang yang keluar *chimney* maka semakin tinggi pula kenaikan *plume rise* yang terjadi ke atmosfer. Terdapat sejumlah factor yang dapat mempengaruhi pola sebaran *plume rise* keluar *chimney* adalah faktor kecepatan angin, faktor temperatur udara dan faktor stabilitas udara.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Prof. Dr. Eng. Agus Choiron, kepala Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, Departemen Teknik Mesin, Universitas Brawijaya karena telah memberikan ijin untuk menggunakan peralatan Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem dan support-support lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ATRESH A, SAFIA SHARIFIAN S, KUEGER B., Using a Split *Chimney* for Dilution of Exhaust Pollution: A CFD Ap-proach., PP 156–61., 2012.
- [2] SIMANJUNTAK AG., Pencemaran Udara., PP 156–61., Batan.go.id. 2007 Available from: <https://jurnal.batan.go.id/index.php/bl/article/view/785/698>. Diakses: Maret 2022.
- [3] SIVANANDAN H, KISHORE VR, GOEL M, ASTHANA A., “A study on plume dispersion characteristics of two discrete plume stacks for negative temperature gradient conditions”, *Environmental Modeling & Assessment*, v. 26, pp. 404-422, 2021.
- [4] T. MING, C. PENG, T. GONG AND Z. LI., Heat transfer and pollutant dispersion in street canyons, *Pollutant Dispersion in Built Environment*. Dispersion in Built Environment 17-56., 2017.
- [5] JOSEPH GMD, HARGREAVES DM, LOWNDES IS. “Reconciling Gaussian plume and Computational Fluid Dynamics models of particulate dispersion”. *Atmos Environ X*. v. 5 (100064):100064, 2020.
- [6] YANG Z, YAO Q, BUSER MD, ALFIERI JG, LI H, TORRENTS A., “Modification and validation of the Gaussian plume model (GPM) to predict ammonia and particulate matter dispersion”, *Atmos Pollut Res*, v. 7, pp. 1063-72, 2020.
- [7] HOLZBECHER, E. “2D and 3D Transport Solutions (Gaussian Puffs and Plumes)”, In: *Environmental Modeling*., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; p. 303–16, 2012
- [8] SHAH, V.; DEKHATWALA, A.; BANERJEE, J.; PATRA, A.K., Analysis of Dispersion of Heated Effluent from Power Plant: A Case Study. In: *Proceedings of Engineering & Science*, pp. 557-574, Sadhana Acad. 2017.
- [9] ZAIR F, MOUQALLID M, CHATRI E.H. “The effect of straight *chimney* temperature on pollutant dispersion”. *E3S Web Conf* [Internet]. 2021;234:00009. Available from: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/10/e3sconf_icies2020_00009.pdf
- [10] FAWWAZ GM, SYAFEI AD, CIPTAN-INGAYU T. “Dispersion study of carbon monoxide emissions by commercial planes from line source at airports”. *Journal of Industrial Innovation*, v. 1., n. 2., pp. 16-33., 2022.
- [11] MAHMOUD BADY., “Evaluation of Gaussian plume model against CFD simulations through the estimation of CO and NO concentrations in an urban area”. *American Journal of Environmental Sciences*, v. 13(2): pp.93-102., 2017.
- [12] TOMINAGA Y., STATHOPOULOS T., “CFD simulations of near-field pollutant dispersion with different plume buoyancies”. *Journal Building and Environment*., V. 131, March pp. 128-139, 2018.

- [13] ANSYS CFX-Solver Manager User's Guide Release 15.0. ANSYS, Inc. November 2013, Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317 ANSYS, Inc. is certified to ISO9001:2008. <http://www.ansys.com>. Diakses April 2022.