

## Analisa CFD Persebaran Gas Buang dan Partikulat dari Cerobong Asap Pembangkit Listrik Tenaga Uap

MSK Tony Suryo Utomo<sup>1,\*</sup> dan Eflita Yohana<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang, Indonesia

\*msktonysu@yahoo.co.id

### Abstrak

Dalam penelitian ini, simulasi CFD dilakukan untuk mengetahui daerah persebaran dari gas buang dan partikulat yang dihasilkan oleh cerobong asap PLTU pada berbagai variasi kecepatan udara. Kecepatan udara divariasikan dari 20 km/jam sampai 70 km/jam dengan interval 10 km/jam. Model turbulen *k-epsilon standard* dengan *Standard wall functions* dan *multiphase mixture* yang digunakan pada simulasi ini, sebelumnya sudah melalui proses validasi dengan tingkat kesalahan maksimum yang relatif rendah yaitu sebesar 12,19 %. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kecepatan udara rendah gas buang lebih pekat dan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kecepatan udara, namun nilai maksimum konsentrasi gas buang sama di setiap variasi kecepatan udara yaitu CO 56 mg/Nm<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> 360 mg/Nm<sup>3</sup> dan SO<sub>x</sub> 154.5 mg/Nm<sup>3</sup>. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa persebaran partikulat dipengaruhi oleh kecepatan udara, semakin tinggi kecepatan udara semakin jauh daerah penyebaran partikulat. Jarak maksimum persebaran partikulat adalah 265 m, 380 m, 515 m, 650 m, 730 m, dan 870 m, masing-masing pada kecepatan udara 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 km/jam. Akan tetapi kadar maksimum partikulat semakin berkurang seiring bertambahnya kecepatan udara.

**Kata Kunci:** PLTU, persebaran, gas buang, partikulat, polutan, CFD, kecepatan.

### Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan uap sebagai fluida kerjanya. Bahan bakar yang digunakan PLTU biasanya terdiri atas batubara, minyak bakar atau gas bumi. Seperti halnya pada siklus pembakaran lainnya, pembakaran bahan bakar khususnya batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) selain menghasilkan panas juga akan menghasilkan polutan berupa SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO dan partikulat berupa *Fly ash* yang berpotensi mencemari lingkungan daerah sekitar PLTU. Hal ini merupakan masalah penting yang harus menjadi perhatian karena berkaitan dengan kebersihan lingkungan dan kesehatan penduduk di daerah sekitar pembangkit.

Telah banyak penelitian sebelumnya dilakukan untuk memprediksi persebaran

polutan dari cerobong asap pembangkit listrik tenaga uap di berbagai lokasi di dunia [1, 2, 3]. Pada umumnya, untuk memprediksi persebaran polutan gas buang digunakan model matematika Gaussian. Model ini sebenarnya sudah cukup bagus dalam memprediksi persebaran gas buang secara kuantitatif, akan tetapi masih kurang dalam hal penyajian visual distribusi polutan di dalam udara lingkungan.

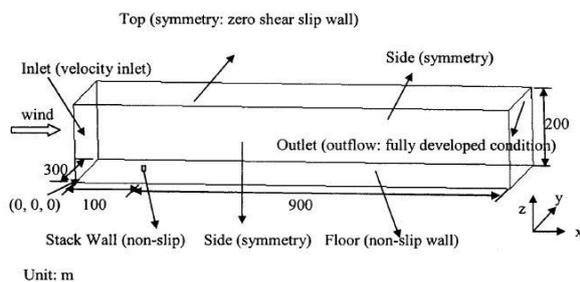
Dalam penelitian ini, untuk mengetahui seberapa jauh persebaran polutan dan partikulat gas buang dari suatu Pembangkit Listrik Tenaga Uap digunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Metode ini dipilih karena selain dapat memberikan data kuantitatif juga mampu menyajikan visualisasi aliran gas buang dari cerobong asap secara detail.

### Metode Komputasi

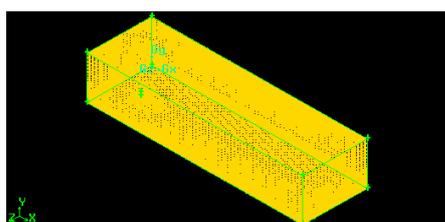
Metode komputasi yang digunakan dalam penelitian ini secara garis besar terbagi dalam dua tahap. Tahap pertama berupa simulasi untuk validasi model simulasi yang akan digunakan. Setelah diperoleh model komputasi yang valid, model tersebut selanjutnya digunakan dalam simulasi untuk memprediksi persebaran gas buang dari cerobong asap PLTU.

**Simulasi Validasi.** Validasi dilakukan dengan melakukan simulasi model yang sama dengan yang dilakukan oleh Xiaoguang Wang [4]. Validasi ini dilakukan untuk mengetahui nilai dan profil kecepatan yang terjadi. Hal ini dilakukan karena nilai dan profil kecepatan sangat berpengaruh pada fenomena persebaran polutan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan paket software FLUENT 6.3. Model *viscous* yang digunakan adalah turbulen  $k-\epsilon$ .

Gambar 1 dan Gambar 2 masing-masing merupakan domain komputasi dan hasil penggenerasian mesh untuk model validasi. Gambar 2 menunjukkan bahwa jenis mesh yang digunakan adalah hexahedral disertai wedge element dengan jumlah sel sekitar 440.000.

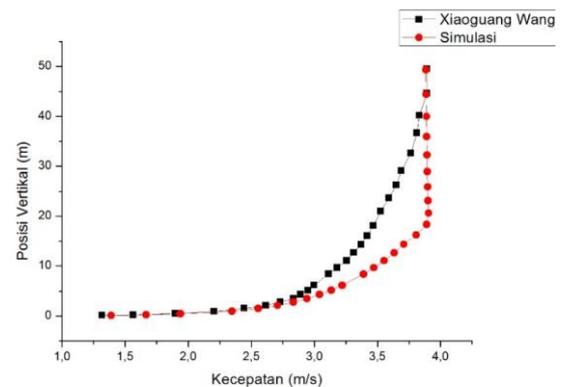


Gambar 1. Geometri domain komputasi [4].



Gambar 2. Topologi mesh

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi validasi. Dari grafik profil kecepatan dapat diketahui terdapat kesesuaian yang cukup bagus antara hasil simulasi dengan hasil penelitian Xiaoguang Wang dengan nilai kesalahan maksimumnya adalah 12,19%. Dari hasil validasi ini dapat diambil kesimpulan bahwa model komputasi yang digunakan sudah tervalidasi dengan baik dan dapat digunakan dalam simulasi berikutnya.



Gambar 3. Profil kecepatan hasil simulasi.

**Simulasi Persebaran Gas Buang dan Partikulat.** Model yang dikaji dalam tahap ini adalah cerobong asap gas buang dari PLTU dengan tingi 240 m, diameter 19,2 m dan daerah lingkungannya atau atmosfer dengan dimensi 1000 m x 75 m x 500 m pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penggenerasian mesh pada domain komputasi menghasilkan 282.320 element *hexahedral* dengan kualitas skewness maksimum pada kisaran 0.64. Hal ini menunjukkan bahwa mesh pada domain komputasi sudah cukup bagus dan siap untuk digunakan dalam simulasi. Tabel 1 memperlihatkan properties dari gas buang yang keluar dari cerobong asap.

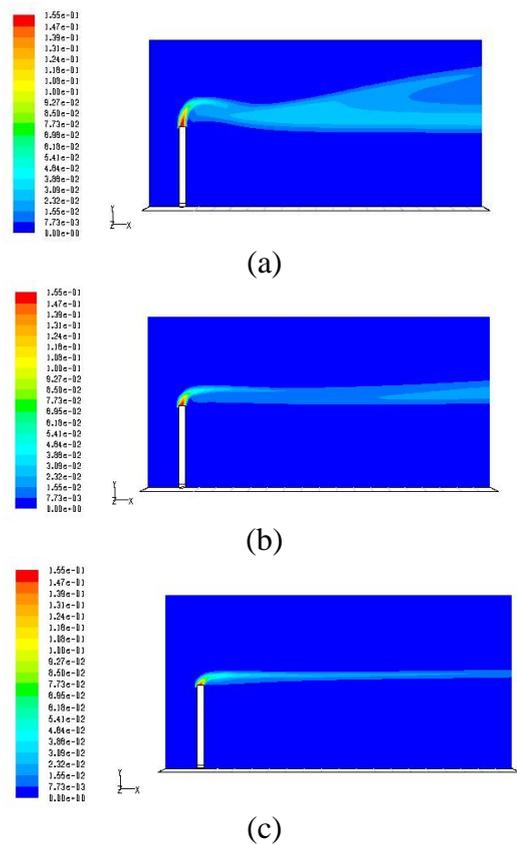
Tabel 1. Properties dari Gas Buang

No	Inlet stack	Nilai
1.	Densitas gas buang	1.32269 kg/m <sup>3</sup>
2.	Konsentrasi O <sub>2</sub>	4,29 %
3.	Konsentrasi CO <sub>2</sub>	16,1 %
4.	Konsentrasi CO	4,23 %
5.	Konsentrasi NO	23,51 %

6.	Konsentrasi NOx	36,29 %
7.	Konsentrasi SOx	15,58 %
8.	Densitas Partikulat	1400 Kg/m <sup>3</sup>
9.	Mass Flow Rate DPM	2,365187 Kg/s
10.	Velocity DPM	0,0023075 m/s

### Hasil Simulasi

**Persebaran Gas Buang.** Gambar 4 merupakan kontur persebaran gas buang dari kecepatan 20 km/jam sampai 70 km/jam. Dari gambar dapat dilihat bahwa persebaran gas buang dipengaruhi oleh kecepatan udara. Kontur persebaran gas buang dikecepatan rendah terlihat lebih banyak dan semakin berkurang dengan bertambahnya kecepatan udara. Hal ini dikarenakan gas buang menyebar ke lingkungan dibawa oleh udara, jadi semakin cepat udara semakin cepat juga gas buang yang terbawa udara dan menyebar ke lingkungan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ondrej Zavila yang menyatakan bahwa semakin besar kecepatan aliran udara, maka semakin besar gaya inersia yang akan mempengaruhi persebaran polutan dan mengurangi gerakan vertikal. Dengan meningkatnya kecepatan aliran udara persebaran polutan condong horizontal di atas cerobong asap (sumber pencemar)[5]. Akan tetapi kecepatan udara tidak mempengaruhi nilai konsentrasi gas buang yang ada di dalamnya yaitu yang terdiri dari CO, NOx, dan SOx. Untuk gas buang CO memiliki konsentrasi sebesar 56 mg/Nm<sup>3</sup>, gas buang NOx memiliki konsentrasi sebesar 360 mg/Nm<sup>3</sup>, dan gas buang SOx memiliki konsentrasi sebesar 154,5 mg/Nm<sup>3</sup>. Nilai Selengkapnya dapat dilihat di Tabel 2 yang menjelaskan tentang nilai konsentrasi tertinggi dari gas buang yang menyebar ke lingkungan.



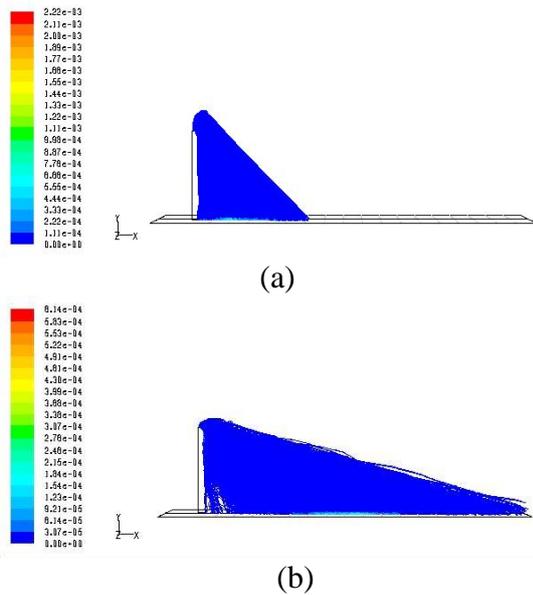
Gambar 4. Kontur persebaran gas buang pada kecepatan udara (a) 20 km/jam (b) 40 km/jam dan (c) 70 km/jam.

Tabel 2. Kosentrasi Gas Buang Tertinggi di Lingkungan

Kecepatan Udara (km/j)	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	NOx (mg/Nm <sup>3</sup> )	SOx (mg/Nm <sup>3</sup> )
20	55.94974	360.0028	154.5562
30	55.94929	359.9999	154.5549
40	55.94924	359.9996	154.5548
50	55.94807	359.9921	154.5516
60	55.94584	359.9778	154.5454
70	55.94075	359.945	154.5313

**Penyebaran Partikulat.** Gambar 5 adalah gambar yang menunjukkan partikel track pada kecepatan udara 20 km/j sampai 70 km/j. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa pergerakan partikel atau partikel track yang jatuh ke tanah dipengaruhi oleh kecepatan udara di lingkungan, semakin

tinggi kecepatan udara semakin jauh juga pergerakan partikel yang jatuh ke tanah. Untuk kecepatan udara 20 km/j partikel bergerak dan terjatuh mencapai 300 m dari cerobong asap, kecepatan udara 30 km/j mencapai 450 m, kecepatan udara 40 km/j mencapai 550 m, kecepatan udara 50 km/j mencapai 650 m, kecepatan 60 km/j mencapai 800 m dan untuk kecepatan udara 70 km/j mencapai 900 m.



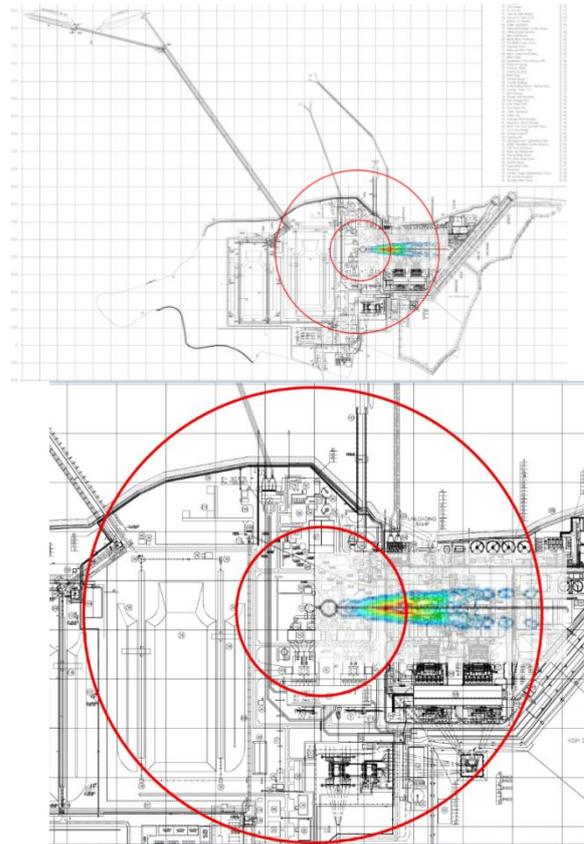
Gambar 5. Kontur partikel *track* dengan kecepatan udara (a) 20 km/jam dan (b) 70 km/jam.

Tabel 3 memperlihatkan nilai terjauh dan nilai tertinggi dari persebaran partikulat di atas permukaan tanah.

Tabel 3. Persebaran partikulat ke lingkungan

No	Kecepatan Udara (km/j)	Partikulat at (kg/m <sup>2</sup> s)	Jarak (m)	Partikulat at (kg/m <sup>2</sup> s)	Jarak (m)
1	20	1.40182 e <sup>-5</sup>	265.11 9	2.19351 e <sup>-3</sup>	60.027
2	30	7.00116 e <sup>-6</sup>	380.17 1	1.56297 e <sup>-3</sup>	115.05 2
3	40	6.99406 e <sup>-6</sup>	515.23 1	1.10753 e <sup>-3</sup>	160.07 2
4	50	6.98907 e <sup>-6</sup>	650.29 2	9.31109 e <sup>-4</sup>	205.09 2

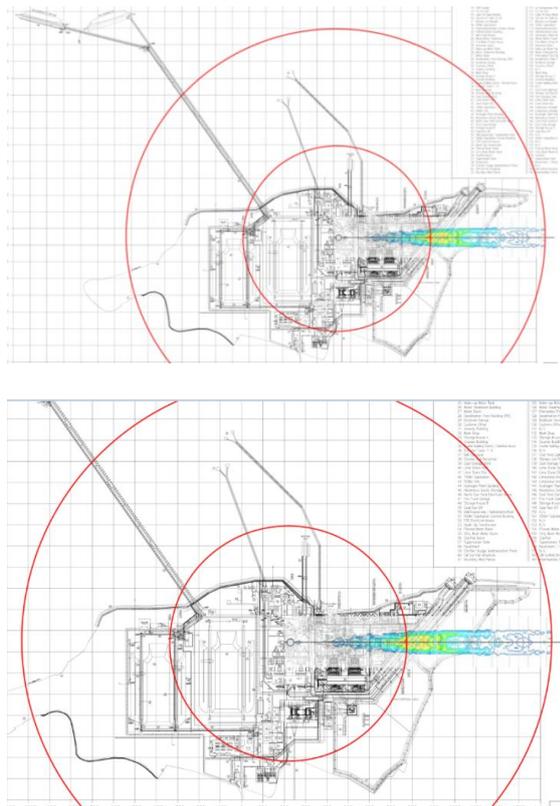
5	60	6.95556 e <sup>-6</sup>	730.32 8	7.29890 e <sup>-4</sup>	270.12 1
6	70	7.29097 e <sup>-6</sup>	870.39 1	6.14003 e <sup>-4</sup>	305.13 7



Gambar 6. Persebaran partikulat ke lingkungan PLTU pada kecepatan udara 20 km/jam.

Gambar 6 dan Gambar 7 masing-masing menunjukkan *mapping* persebaran partikulat di daerah PLTU batubara pada kecepatan udara 20 km/jam dan 70 km/jam. Untuk lingkaran kecil di dalamnya menunjukkan konsentrasi partikulat terbesar dan lingkaran besar menunjukkan jarak terjauh persebaran partikelnya. Dari gambar *mapping* di atas dapat dilihat bahwa kecepatan udara sangatlah berpengaruh pada penyebaran partikulat ke lingkungan PLTU batubara. Hal ini dikarenakan partikulat bergerak dari cerobong asap dan menyebar ke lingkungan terbawa oleh udara sehingga dapat dilihat

bahwa semakin tinggi kecepatan udara maka semakin jauh juga jangkauan dari penyebaran partikulat ke lingkungan PLTU batubara. Pada kecepatan udara yang kecil persebaran partikulat masih berada pada daerah PLTU batubara dan semakin menjauh hingga pada kecepatan udara yang tinggi persebaran partikulat dapat mencapai keluar dari lingkungan PLTU batubara.



Gambar 7. Persebaran partikulat ke lingkungan PLTU pada kecepatan udara 70 km/jam.

### Kesimpulan

a. Pola persebaran gas buang dipengaruhi oleh kecepatan udara, semakin besar kecepatan aliran udara maka semakin besar gaya inersia yang akan mempengaruhi persebaran gas buang dan mengurangi gerakan vertikal. Dengan meningkatnya kecepatan aliran udara persebaran polutan condong horizontal di atas cerobong asap. Akan tetapi, perbedaan kecepatan udara tidak

mempengaruhi nilai konsentrasi maksimal dari gas buang. Nilai konsentrasi gas buang CO, NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> adalah 56 mg/Nm<sup>3</sup>, 360 mg/Nm<sup>3</sup> dan 154.5 mg/Nm<sup>3</sup>. Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 21 tahun 2008 nilai konsentrasinya masih berada dibawah ambang batas aman yang diijinkan.

- b. Persebaran partikulat dipengaruhi oleh besarnya kecepatan udara. Semakin tinggi kecepatan udara semakin jauh juga daerah persebaran jatuhnya partikulat, karena kecepatan udara yang lebih tinggi akan membawa atau mendorong partikulat lebih jauh dengan kondisi yang sama. Akan tetapi, semakin tinggi kecepatan udara kadar partikulat terbesarnya semakin kecil dikarenakan jangkauan persebarannya yang semakin jauh atau luas. Pada kecepatan udara 20 km/jam jangkauan persebaran partikulat terjauhnya mencapai 265 m dan kadar partikulat terbesarnya mencapai  $2e^{-3}$  kg/m<sup>2</sup>s, pada kecepatan udara 70 km/jam jangkauan persebaran partikulatnya mencapai 870 m dan kadar partikulat terbesarnya mencapai  $6e^{-4}$  kg/m<sup>2</sup>s.
- c. Daerah rawan pada PLTU batubara akibat persebaran partikulat sesuai hasil mapping untuk kecepatan udara 20 km/jam persebaran partikulat terjauhnya masih berada pada daerah PLTU batubara yaitu mencapai 265 m dari stack, dan akan semakin jauh seiring bertambahnya kecepatan udara hingga pada kecepatan udara 70 km/jam persebaran partikulatnya bisa mencapai keluar dari lingkungan PLTU batubara yaitu bisa mencapai 870 m dari stack.

### Referensi

- [1] Ramadan, A.A., Al-Sudairawi, M., Alhajraf, S. and Khan, A.R., Total SO<sub>2</sub> emissions from power stations and evaluation of their impact in Kuwait using a Gaussian Plume Dispersion

- Model. American Journal of Environmental Sciences V.4, N.1 (2008) 1-12.
- [2] Yousif, S.A., Salem, A.A., Nassar, Y.F. and Bader, I.F., Investigation of pollutants dispersion from power stations. International Journal of Energy Research. 30 (2006) 1352 – 1362.
- [3] Bhanarkar, A.D., Rao, C.C.V. and Pandit, V.I., Air pollution modeling for power plant site selection. International Journal of Environmental Studies. 62 (2005) 527-534.
- [4] Wang, Xiaoguang. Numerical simulation of wind-induced dispersion of emissions from rooftop stacks. Masters thesis, Concordia University, 2006.
- [5] Zavila, Ondrej. Physical Modeling of Gas Pollutant Motion in The Atmosphere. INTECH. 2012.