

Simulasi Persebaran Gas Buang Dan Partikulat Dari Cerobong Asap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Di Jepara Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) Dengan Variasi Kecepatan Udara

*Kusman¹, M. S. K. Tony Suryo Utomo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: kusmank84@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara selain memberikan keuntungan berupa ketersediaan listrik, juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar karena kandungan dari gas buangnya. Sulfur oksida (SO_x), Nitrogen oksida (NO_x), Karbon Monoksida (CO) serta partikulat merupakan polutan dari PLTU yang akan menyebar ke lingkungan dan bersifat bahaya bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daerah persebaran dari gas buang dan partikulat yang dihasilkan oleh cerobong asap PLTU dengan melakukan simulasi melalui variasi kecepatan udara dari 20 km/j sampai 70 km/j dengan interval 10 km/j. Maka dari itu digunakan model matematik *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Metode validasi yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu membandingkan grafik kecepatan pada jurnal milik Xiaoguang Wang dengan menggunakan metode turbulen *k-epsilon standard* dengan *Standard wall funtions* dan *multiphase mixture*. Hasil validasi tersebut didapatkan *error* maksimum sebesar 12,19 %. Karena *error* < 20 % maka metode tersebut dapat digunakan. Dari kontur penyebaran gas buang yang diperoleh pada proses simulasi dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan udara rendah gas buang lebih pekat dan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kecepatan udara, namun nilai maksimum konsentrasi gas buang sama disetiap variasi kecepatan udara yaitu CO 56 mg/Nm³, NO_x 360 mg/Nm³ dan SO_x 154.5 mg/Nm³. Untuk kontur penyebaran partikulat juga dapat disimpulkan bahwa jarak penyebaran partikulat dipengaruhi oleh kecepatan udara, semakin tinggi kecepatan udara semakin jauh juga daerah penyebaran partikulat. Jarak maksimum persebaran partikulat dari kecepatan udara 20 km/j sampai 70 km/j berturut-turut adalah 265 m, 380 m, 515 m, 650 m, 730 m, dan 870 m. Akan tetapi kadar maksimum dari partikulatnya semakin berkurang seiring bertambahnya kecepatan udara.

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

Abstract

Steam Power plant of coal in addition to providing the advantage of the availability of electricity, also had a negative impact on the surrounding environment because the content of the exhaust gas. Sulphur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x), Carbon Monoxide (CO) and particulate matter are the pollutants from power plant that will spread into the environment and are a danger to the environment. The aim of this study was to determine the distribution area of the exhaust gases and particulates generated by the power plant chimney with simulating through variations in air speed of 20 km / h to 70 km / h at intervals of 10 km / h. Thus the mathematical models used Computational Fluid Dynamics (CFD). The evaluation method used in this thesis is to compare the speed chart in the journal belonging to Wang Xiaoguang using the k-epsilon turbulence standard with wall Standard funtions and multiphase mixture. The validation results obtained maximum error of 12,19 % .Because error < 20 %, then the method can be used. From contour spread of exhaust gas obtained in the simulation process can be concluded that the air speed lower exhaust gas is more dense and diminishing along with increasing air speed, but the maximum value of the concentration of exhaust gas at every variation of airspeed namely CO 56 mg/Nm³, NO_x 360 mg/Nm³ and SO_x 154.5 mg/Nm³. To contour the spread of particulates can also be deduced that the distance is affected by the spread of particulate air speed, the higher the air velocity distribution area farther also particulates. The maximum distance distribution of particulate matter from air speed 20 km/h to 70 km/h are respectively 265 m, 380 m, 515 m, 650 m, 730 m and 870 m. However, the maximum levels of particulate diminishing with increasing airspeed.

Keywords: Steam power plant, flue gases, particulates, pollutants, CFD, speed.

1. Pendahuluan

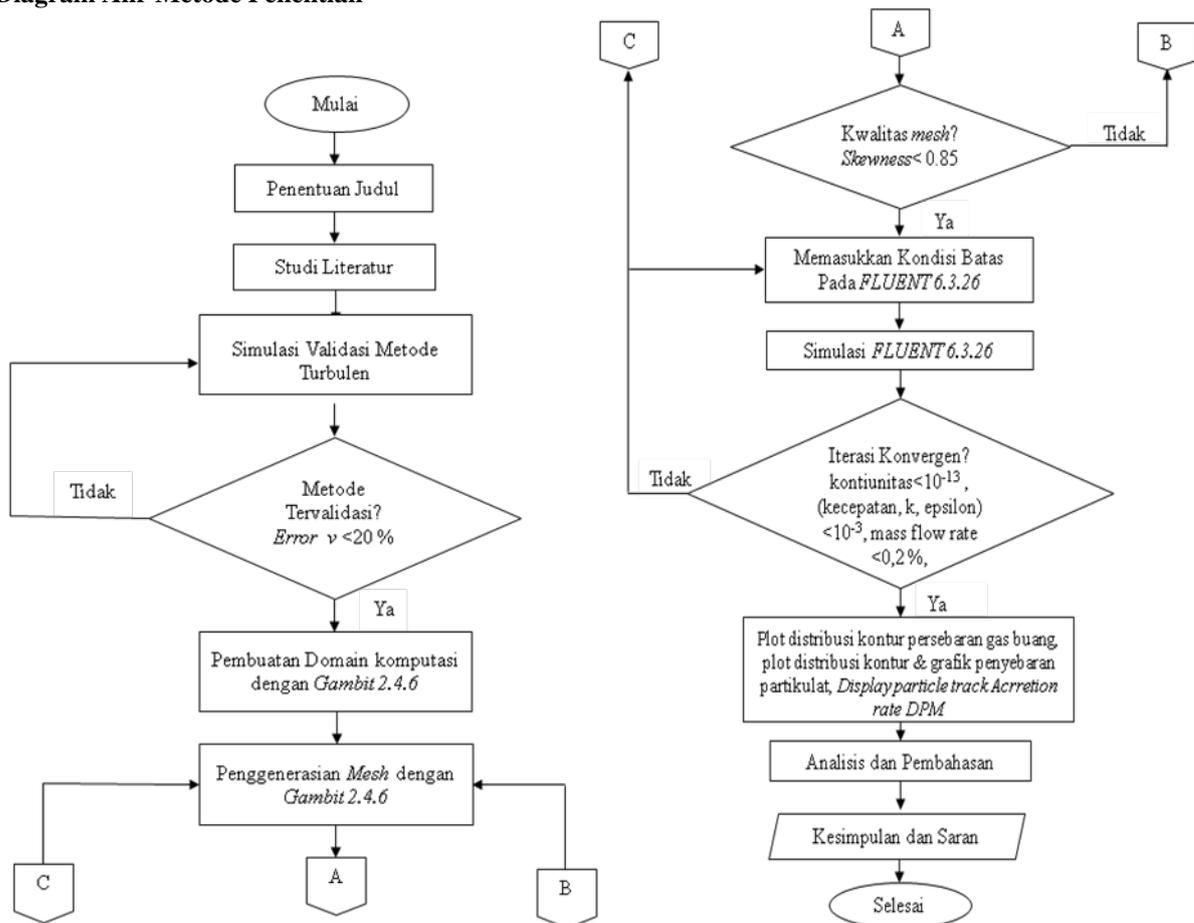
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan uap sebagai fluida kerjanya, dimana dengan menggunakan bahan bakar padat, cair, dan atau gas untuk memanaskan air dalam ketel uap (Boiler) yang memproduksi uap yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik.

Bahan bakar yang digunakan PLTU biasanya terdiri atas batubara, minyak bakar atau gas bumi. Seperti pada siklus pembakaran lainnya, pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) khususnya batubara pembakaran selain menghasilkan panas juga akan menghasilkan polutan yang berupa SO_x, NO_x, CO dan partikulat berupa *Fly ash* yang nantinya akan mencemari lingkungan daerah sekitar PLTU ketika sudah keluar dari cerobong asap dan dihembus oleh angin selain itu juga bisa menjadi penyebab terjadinya hujan asam [1].

Untuk mengetahui seberapa jauh persebaran polutan dan partikulat gas buang dari suatu Pembangkit Listrik Tenaga Uap dibutuhkan suatu kajian khusus salah satunya dengan simulasi menggunakan metode *Computerized Fluid Dynamics*.

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

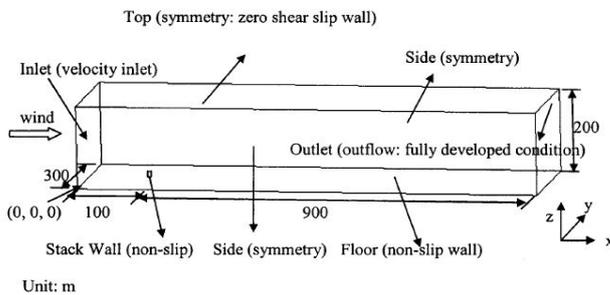
2.2 Simulasi Validasi Model Turbulen

Validasi yang dilakukan mengenai fenomena polutan dispersion yang dilakukan oleh Xiaoguang Wang pada tahun 2006. Validasi ini dilakukan untuk mengetahui nilai dan profil kecepatan yang terjadi, karena nilai dan profil kecepatan sangat berpengaruh pada fenomena polutan dispersion. Metode yang digunakan turbulen K- ϵ , bila hasilnya sudah sesuai maka dapat digunakan pada simulasi penelitian ini.

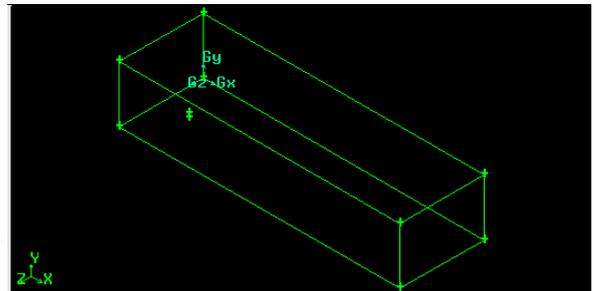
Geometri yang dibuat mengikuti simulasi yang telah dilakukan pada penelitian Xiaoguang Wang. Dengan geometri yang sama selanjutnya akan disimulasikan dengan model turbulen yaitu k-epsilon *standard*. Hasilnya lalu dibandingkan dengan yang ada pada jurnal Xiaoguang Wang. Gambar 2 dan Gambar 3 merupakan geometri dari penelitian Xiaoguang Wang.

Setelah dibuat geometri sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Xiaoguang Wang maka langkah selanjutnya yaitu dilakukan proses penggenerasian mesh. Karena terdapat silinder stack pada domain komputasi, maka jenis meshing yang digunakan yaitu *Hex/Wedge Cooper*[3]. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 Diatas

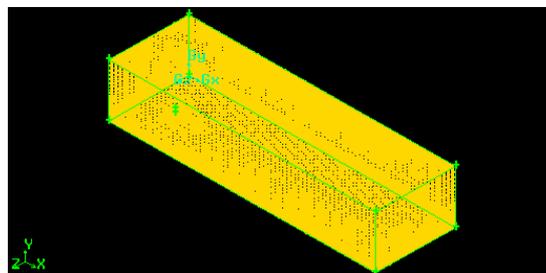
keseluruhan geometri menggunakan elemen *hexahedral* dan juga disertai *wedge element*, pada tanah terlihat sedikit rapat karena *wall*. Dengan jumlah *cell* nya yaitu 441.482 dan nilai *skewness* nya yaitu 0.855935 itu berarti nilai *skewness* nya dapat memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh FLUENT.



Gambar 2. Geometri penelitian Xiaoguang Wang[2]



Gambar 3. Geometri validasi



Gambar 4. Penggenerasian *mesh*

Xiaoguang Wang melakukan penelitian dengan dua variasi stack dan yaitu dengan tinggi 16 m berdiameter 0.6 m dan tinggi 2 m berdiameter 0.2 m. Pada simulasi validasi ini menggunakan stack dengan tinggi 16 m berdiameter 0.6 m. Dalam simulasi tugas akhir ini, model turbulen yang dipakai adalah model turbulen k-epsilon *standard* dengan *Standard wall functions*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, digunakan metode diskretisasi *second order upwind*. Pada Tabel 1 dan Tabel 2 Menunjukkan parameter model validasi dan kondisi batas yang digunakan pada pemodelan validasi ini.

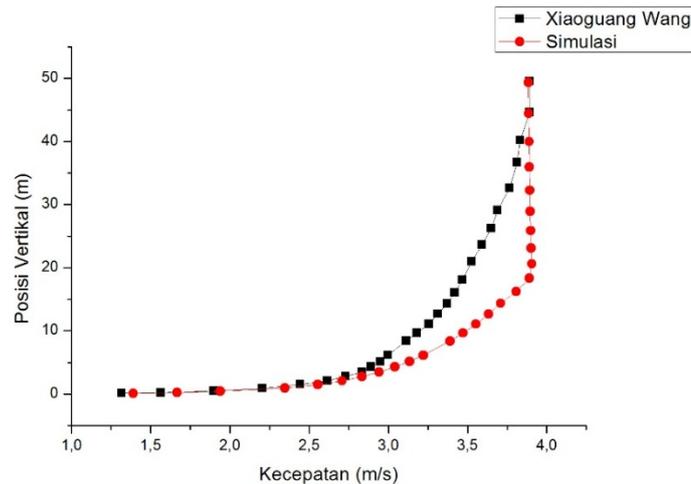
Tabel 1. Parameter model

No	Parameter	Keterangan
1	<i>Multiphase</i>	<i>Mixture</i>
2	<i>Energy</i>	<i>Off</i>
3	<i>Viscous</i>	K-epsilon <i>Standard</i>
4	<i>UDF (User Define Function)</i>	<i>Profil Kecepatan Udara dan Turbulent Intensity</i>

Tabel 2. Kondisi batas permodelan

No	Kondisi batas	Jenis	Keterangan
1	Sisi kiri	<i>Velocity inlet</i>	UDF profil kecepatan udara dan <i>turbulent intensity</i>
2	<i>Stack inlet</i>	<i>Velocity inlet</i>	Y <i>velocity</i> : 0.03 m/s
3	<i>Wall tanah & stack</i>	<i>Wall</i>	UDF <i>turbulent intensity</i> Standard wall function no slip wall condition physical roughness (ks) 0.03 m roughness constant Cks 0.5
4	Sisi kanan	<i>Outflow</i>	Zero diffusion flux for all variables
5	Sisi yang lain	<i>Symmetry</i>	Zero normal velocity and normal gradient

Dari hasil simulasi didapatkan grafik kecepatan pada Gambar 7, Kemudian grafik tersebut dibandingkan dengan grafik yang ada pada jurnal milik Xiaoguang Wang,2006. Dari perbandingan yang dilakukan didapat error kurang dari 20%. Dengan error maksimum kecepatan adalah 12,19%. Sehingga metode pada jurnal tersebut dapat diterapkan pada tugas akhir ini



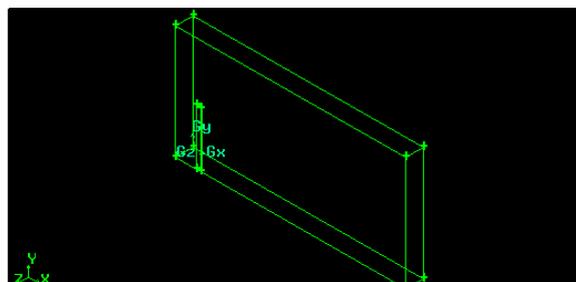
Gambar 7. Grafik validasi kecepatan

2.3 Simulasi Persebaran Gas Buang dan Partikulat pada PLTU di Jepara

Simulasi CFD ini dilakukan untuk memprediksi penyebaran gas buang dan partikulat dari cerobong asap (*stack*) PLTU terhadap lingkungan di sekitarnya. Hal ini dilakukan karena penyebaran gas buang dan partikulat yang banyak mengandung Sox dan Nox ini penyebab terjadinya hujan asam yang akhirnya menyebabkan korosi terhadap unit-unit lain disekitarnya.

Model yang dikaji dalam masalah 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). Pemodelan geometri cerobong asap dan daerah lingkungannya atau atmosfer dilakukan pada Gambit 2.4.6 sesuai dengan data dimensi dari lapangan. Gambar 5 berikut menerangkan bentuk geometri dari daerah komputasi yang akan disimulaikan.

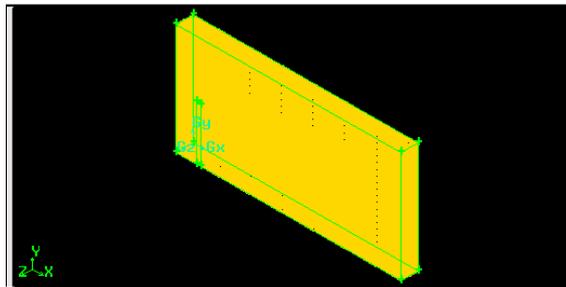
Proses simulasi ini nantinya dilakukan dengan mensimulasikan setengah bagian dari cerobong asap yaitu membuat kondisi simetri kiri-kanan seperti terlihat pada Gambar 5. Untuk hasil simulasi, visualnya akan dicerminkan atau simetri sehingga hasil simulasi terlihat utuh. Hal ini dilakukan agar proses komputasi menjadi lebih cepat karena jumlah *grid* yang digunakan menjadi lebih sedikit.



Gambar 5. Geometri domain komputasi

Setelah geometri domain komputasi yang telah ditentukan dibuat modelnya selanjutnya dilakukan penggenerasian *mesh*. Penggenerasian *mesh* dilakukan pada Gambit 2.4.6 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Jenis *meshing* yang dilakukan pada keseluruhan geometri ini yaitu menggunakan *hexahedral* dengan *element size* sebesar 5 m dan jumlah element sebesar 282.320.

Dari proses penggenerasian *mesh* yang dilakukan, kemudian dilihat nilai *skewness*-nya sudah sesuai dengan batas maksimal yang ditentukan oleh FLUENT atau belum. Pada Tabel 3 menjelaskan nilai *skewness* dan jumlah *grid* dari model yang telah dibuat, dapat dilihat bahwa *skewness* yang diperoleh adalah 0,64752 sehingga proses penggenerasian *mesh* yang telah dilakukan dapat diterima atau telah memenuhi persyaratan.



Gambar 6. Pengenerasian *mesh* domain komputasi

Tabel 3 dan 4 memperlihatkan jumlah *grid* dan *skewness* dan Kondisi batas simulasi, serta pada tabel 5 menunjukkan nilai masukan pada inlet *stack*.

Tabel 3. Jumlah *grid* dan *skewness* domain komputasi

No	Model	Jumlah grid	Skewness
1	Domain komputasi	282.320	0,64752

Tabel 4. Kondisi batas simulasi

No	Kondisi batas	Jenis	Keterangan
1	Sisi kiri	<i>Velocity inlet</i>	UDF profil kecepatan udara dan <i>turbulent intensity</i>
2	<i>Stack inlet</i>	<i>Velocity inlet</i>	Y velocity: 14,09 m/s UDF <i>turbulent intensity</i> DPM <i>accretion erosion</i>
3	Wall tanah & stack	Wall	Standard wall function no slip wall condition physical roughness (ks) 0.03 m roughness constant Cks 0.5
4	Sisi kanan	<i>Outflow</i>	Zero diffusion flux for all variables
5	Sisi yang lain	<i>Symmetry</i>	Zero normal velocity and normal gradient

Tabel 5. Nilai masukan pada *stack*

No	Inlet stack	Nilai
1.	Densitas gas buang	1.32269 kg/m ³
2.	Konsentrasi O ₂	4,29 %
3.	Konsentrasi CO ₂	16,1 %
4.	Konsentrasi CO	4,23 %
5.	Konsentrasi NO	23,51 %
6.	Konsentrasi NO _x	36,29 %
7.	Konsentrasi SO _x	15,58 %
8.	Densitas Partikulat	1400 Kg/m ³
9.	Mass Flow Rate DPM	2,365187 Kg/s
10.	Velocity DPM	0,0023075 m/s

Tahapan yang dilakukan dalam simulasi pada FLUENT adalah sebagai berikut:

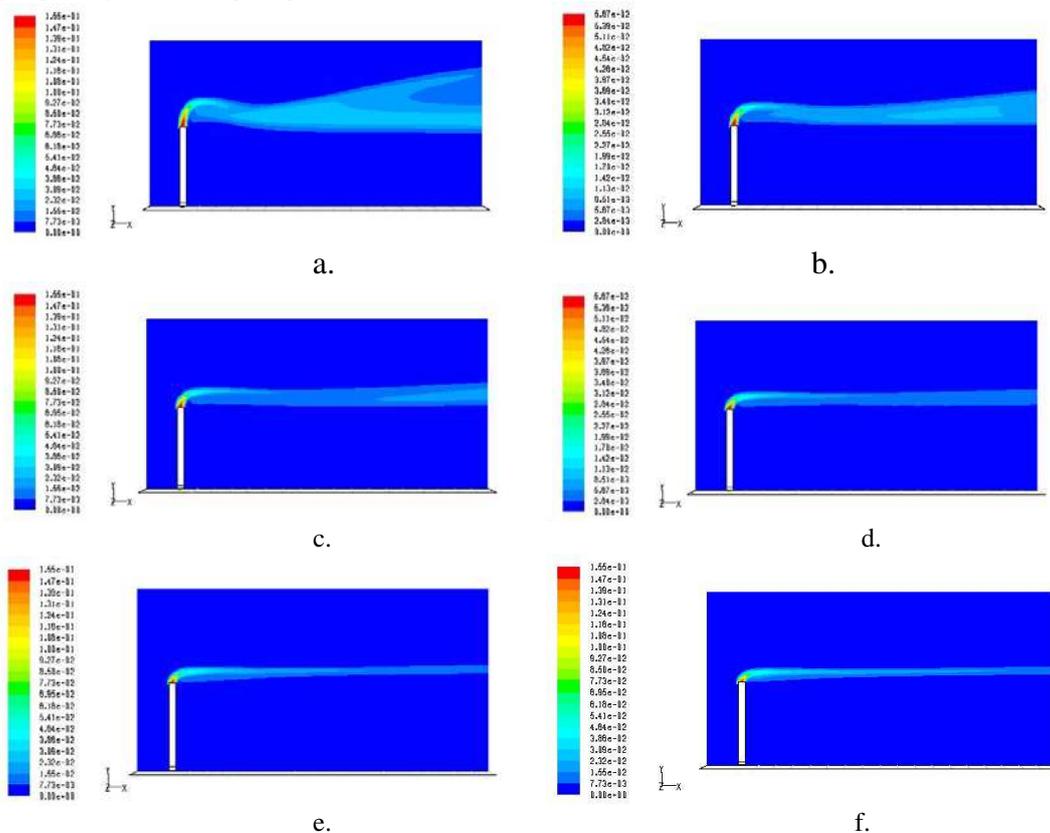
1. Melakukan *import file Meshing*.
2. File yang di import merupakan domain komputasi aliran yang diteliti.
3. Melakukan pengecekan *grid*.
4. Menentukan formulasi *solver* dan model fisik dari suatu permasalahan seperti model aliran yang *steady/unsteady* atau pun laminar/turbulen,
5. Menentukan jenis dan sifat material.
6. Menentukan kondisi batas dari model yang dibuat.
7. Menentukan metode diskretisasi yang akan dilakukan.
8. Menentukan parameter pada solution control.
9. Melakukan initialize medan aliran.
10. Melakukan proses perhitungan (iterasi).
11. Melakukan *postprocessing* dengan menampilkan nilai, grafik dan gambar kontur yang diperlukan.

Data yang harus didapatkan untuk simulasi persebaran gas buang ini adalah besaran konsentrasi polutan . dan Menampilkan kontur distribusi partikulat, polutan dan partikel track.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penyebaran gas buang

Gambar 7 merupakan kontur persebaran gas buang dari kecepatan 20 km/j sampai 70 km/j. 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)[4]. 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/Nm³ , gas buang NOx memiliki konsentrasi sebesar 360 mg/Nm³ , dan gas buang SOx memiliki konsentrasi sebesar 154,5 mg/Nm³. Nilai Selengkapnya dapat dilihat di Tabel 6 yang menjelaskan tentang nilai konsentrasi tertinggi dari gas buang yang menyebar ke lingkungan.



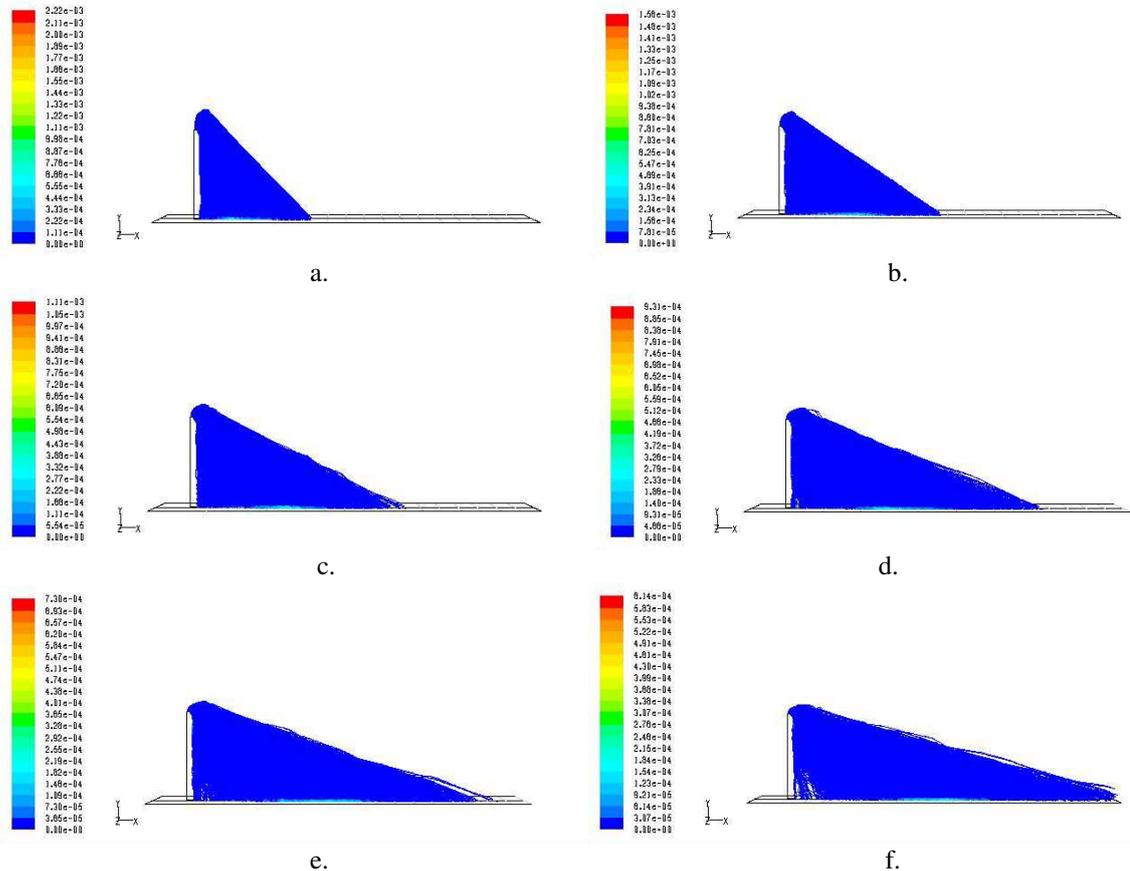
Gambar 7. Kontur persebaran gas buang dengan kecepatan udara a. 20 km/j b. 30 km/j c. 40 km/j d. 50 km/j e. 60 km/j dan f. 70 km/j.

Tabel 6. Kosentrasi gas buang tertinggi di lingkungan

Kecepatan Udara (km/j)	CO (mg/Nm ³)	NOx (mg/Nm ³)	SOx (mg/Nm ³)
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

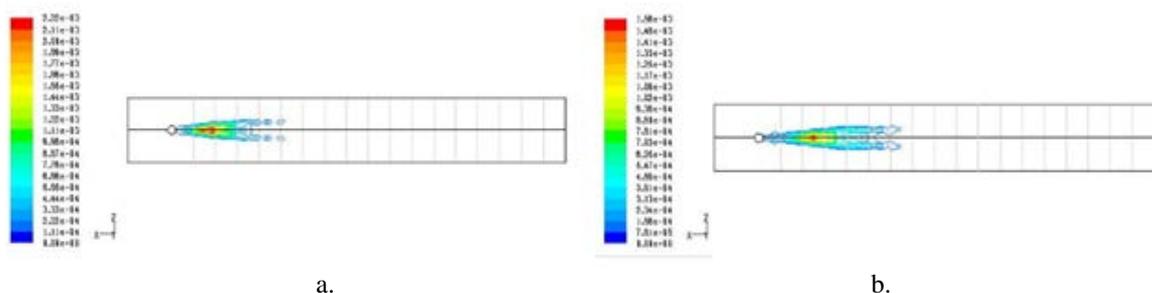
3.2 Penyebaran partikulat

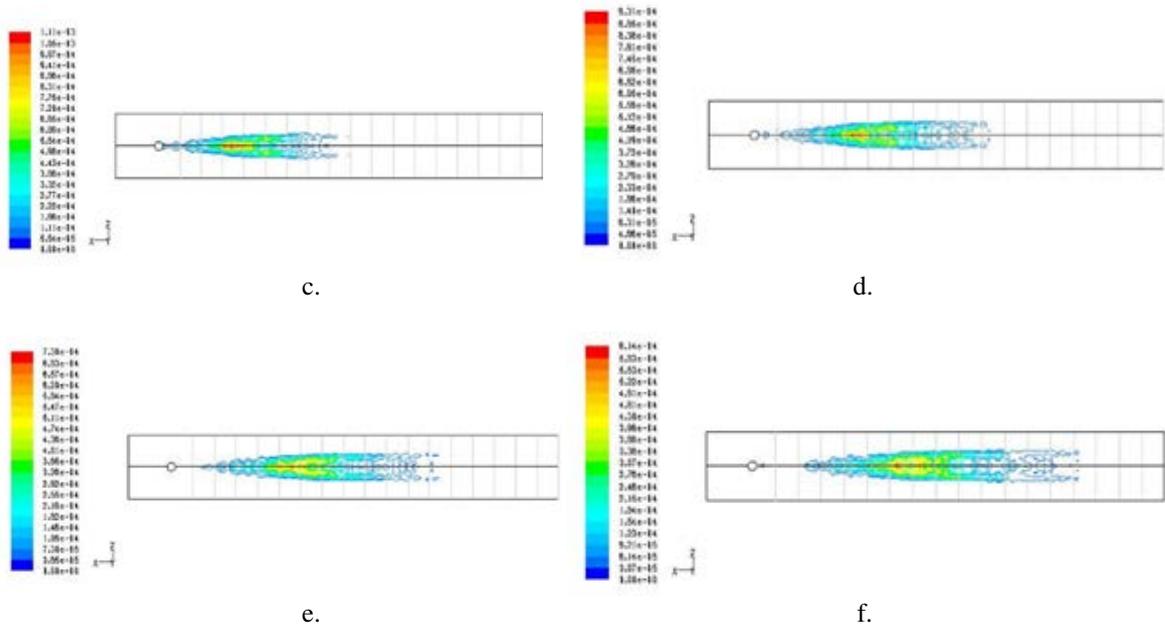
Gambar 8 adalah gambar yang menunjukkan partikel *track* pada kecepatan udara 20 km/j sampai 70 km/j. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa pergerakan partikel atau partikel *track* yang jatuh ke tanah dipengaruhi oleh kecepatan udara di lingkungan, semakin tinggi kecepatan udara semakin jauh juga pergerakan partikel yang jatuh ke tanah. Untuk kecepatan udara 20 km/j partikel bergerak dan bisa terjatuh mencapai 300 m dari cerobong asap, kecepatan udara 30 km/j bisa mencapai 450 m, kecepatan udara 40 km/j bisa mencapai 550 m, kecepatan udara 50 km/j bisa mencapai 650 m, kecepatan 60 km/j bisa mencapai 800 m dan untuk kecepatan udara 70 km/j bisa mencapai 900 m.



Gambar 8. Kontur partikel *track* dengan kecepatan udara a. 20 km/j b. 30 km/j c. 40 km/j d. 50 km/j e. 60 km/j dan f. 70 km/j

Gambar 9 merupakan persebaran partikulat yang tertangkap di tanah untuk kecepatan 20 km/j sampai 70 km/j. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa persebaran partikulat di tanah dipengaruhi oleh besarnya kecepatan udara. Semakin tinggi kecepatannya semakin jauh juga persebaran dari partikulat di permukaan tanah. Untuk kecepatan udara 20 km/j pada gambar terlihat persebaran partikulat di permukaan tanah bisa mencapai sejauh 265 m dari cerobong asap. Untuk kecepatan udara 30 km/j bisa mencapai 380 m, untuk kecepatan udara 40 km/j bisa mencapai sejauh 515 m, untuk kecepatan udara 50 km/j bisa mencapai sejauh 650 m, untuk kecepatan udara 60 km/j bisa mencapai sejauh 730 m dan untuk kecepatan udara 70 km/j bisa mencapai sejauh 870 m dari cerobong asap. Selain itu kecepatan udara juga mempengaruhi kadar partikulat terbesarnya, semakin tinggi kecepatan udara semakin sedikit kadar partikulat terbesarnya hal ini dikarenakan jangkauan persebaran partikulat yang semakin jauh seiring bertambahnya kecepatan udara. Untuk mengetahui nilai persebaran partikulat di permukaan tanah lebih jelasnya dapat melihat Tabel 7 yang menjelaskan tentang nilai terjauh dan nilai tertinggi dari persebaran partikulat di permukaan tanah di bawah.



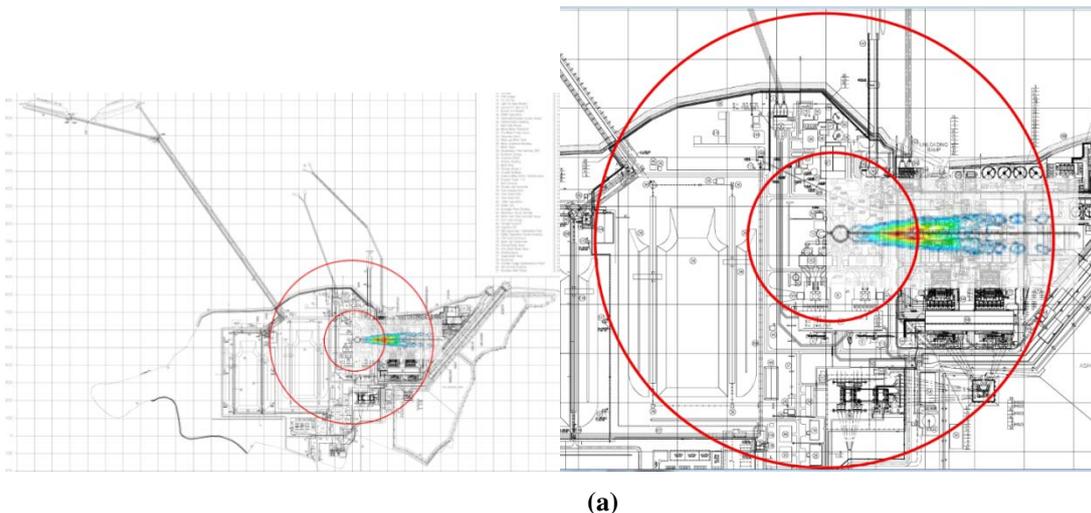


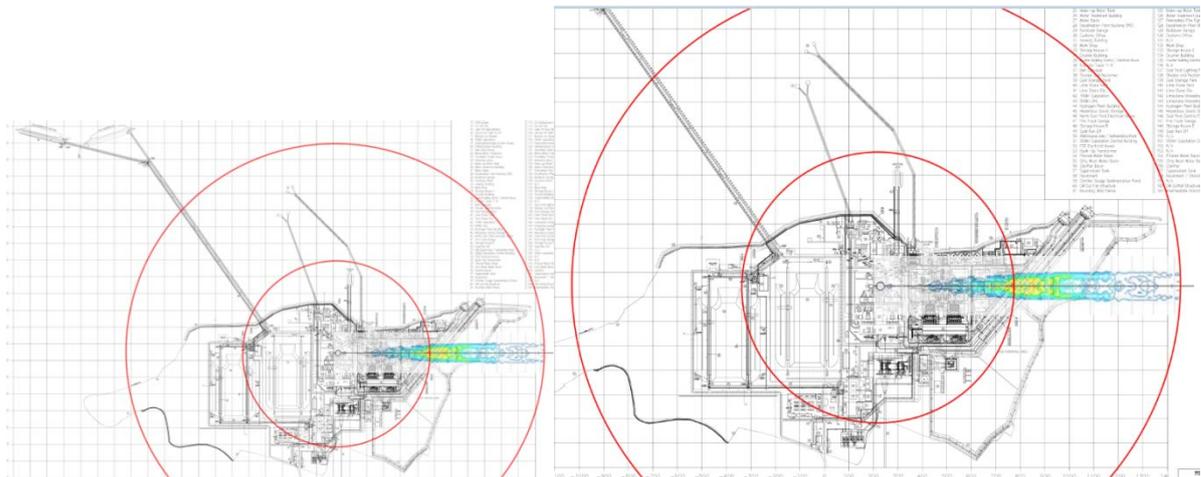
Gambar 9. Kontur partikulat di tanah dengan kecepatan udara a. 20 km/j b. 30 km/j c. 40 km/j d. 50 km/j e. 60 km/j dan f. 70 km/j

Tabel 7.Penyebaran partikulat ke lingkungan

No	Kecepatan Udara (km/j)	Partikulat (kg/m ² s)	Jarak (m)	Partikulat (kg/m ² s)	Jarak (m)
		Terjauh		Terbesar	
1	20	1.40182e ⁻⁵	265.119	2.19351e ⁻³	60.027
2	30	7.00116e ⁻⁶	380.171	1.56297e ⁻³	115.052
3	40	6.99406e ⁻⁶	515.231	1.10753e ⁻³	160.072
4	50	6.98907e ⁻⁶	650.292	9.31109e ⁻⁴	205.092
5	60	6.95556e ⁻⁶	730.328	7.29890e ⁻⁴	270.121
6	70	7.29097e ⁻⁶	870.391	6.14003e ⁻⁴	305.137

3.3 Tampilan Mapping Penyebaran Partikulat pada Lingkungan di Sekitar PLTU Batubara





(b)
Gambar 10. Penyebaran partikulat ke lingkungan PLTU (a) kecepatan 20 km/j dan (b) kecepatan 70 km/j

Gambar 10 merupakan gambar *mapping* persebaran partikulat di daerah PLTU batubara dengan kecepatan udara 20 km/j dan 70 km/j. Untuk lingkaran kecil di dalamnya menunjukkan konsentrasi partikulat terbesar dan lingkungan 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.

4. Kesimpulan

Dasi hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

- 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_x dan SO_x adalah 56 mg/Nm³, 360 mg/Nm³ dan 154.5 mg/Nm³. Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup no 21 tahun 2008 nilai konsentrasinya masih berada dibawah ambang batas aman yang diijinkan.
- 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 jangkauannya yang semakin jauh atau luas. Pada kecepatan udara 20 km/j jangkauan persebaran partikulat terjauhnya mencapai 265 m dan kadar partikulat terbesarnya mencapai $2e^{-3}$ kg/m²s, pada kecepatan udara 70 km/j jangkauan persebaran partikulatnya mencapai 870 m dan kadar partikulat terbesarnya mencapai $6e^{-4}$ kg/m²s.
- Daerah rawan pada PLTU batubara akibat persebaran partikulat sesuai hasil mapping untuk kecepatan udara 20 km/j 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/j persebaran partikulatnya bisa mencapai keluar dari lingkungan PLTU batubara yaitu bisa mencapai 870 m dari stack.

Daftar Pustaka

- [1] Iswan, *Penanggulangan Limbah PLTU batubara*, 2010
- [2] Wang, Xiaoguang. 2006. *Numerical simulation of wind-induced dispersion of emissions from rooftop stacks*. Masters thesis, Concordia University.
- [3] Riddle, A., Carruthers, D., Sharpe, A., McHugh, C. & Stroker, J., *Comparisons between FLUENT and ADMS for atmospheric dispersion modeling*, Atmospheric Environment, Vol. 38, 2004, pp1029-103
- [4] Zavila, Ondrej. 2012. *Physical Modeling of Gas Pollutant Motion in The Atmosphere*. INTECH