

SIMULASI KARAKTERISTIK GASIFIKASI BIOMASSA DALAM REAKTOR CIRCULATING FLUIDIZED BED (CFB) MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS 14.5

SIMULATION OF BIOMASS GASIFICATION CHARACTERISTIC ON REACTOR CIRCULATING FLUIDIZED BED (CFB) USING SOFTWARE ANSYS 14.5

Muhamad Kholik Martadinata Efendi¹, Suwandi.,Drs.,M.Si², Haifa Wahyu.,Dr.,Ir³

^{1,2} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³ Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

¹ muhkholikme@gmail.com, ² suwandi@telkomuniversity.ac.id, ³ haifa.wahyu@gmail.com

Abstrak

Gasifikasi biomassa di dalam reaktor *Circulating Fluidized Bed* (CFB) memiliki potensi untuk pengembangan teknologi bersih dan peningkatan kualitas gas bakar yang dihasilkan. Proses gasifikasi merupakan proses pirolisa atau dekomposisi termal dimana rantai karbon dari biomassa terpecah menjadi gas-gas CO, CO₂, CH₄, dan H₂. Berdasarkan keunggulan yang dimiliki oleh reaktor CFB, untuk mengetahui bagaimana terjadinya proses gasifikasi didalam reaktor maka dilakukan proses simulasi. Simulasi dan analisis terhadap karakteristik gasifikasi biomassa dilakukan untuk mendapatkan visualisasi karakteristik gasifikasi biomassa dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Metode CFD yang terdapat di ANSYS 14.5 digunakan untuk menentukan dimensi dan konfigurasi sistem di reaktor gasifikasi biomassa CFB seperti distribusi suhu, distribusi tekanan, aliran fluida, dan arah partikel biomassa pada saat proses gasifikasi. Pada hasil simulasi didapatkan bahwa kecepatan aliran didalam reaktor relatif sama di sepanjang tinggi reaktor, distribusi tekanan lebih besar di bagian bawah dan pada bagian atas reaktor cenderung mengecil, komposisi CO dan H₂ tidak dapat terdeteksi tapi untuk fraksi fuel gas sudah terlihat disepanjang tinggi reaktor CFB. Seluruh hasil simulasi CFD sudah merepresentasikan karakteristik gasifikasi CFB yaitu kecepatan fluidisasi desain 0.7 m/s dan kecepatan fluidisasi minimum 0.07 m/s yang dapat dilihat pada salah satu simulasi dengan masukan MFR 0.00709 kg/s dan kecepatan udara 2.35 m/s memiliki nilai kecepatan aliran atau fluidisasi 1.638 m/s; 2.234 m/s; dan 2.952 m/s yang dilihat dari tiga titik tinjau.

Kata Kunci: gasifikasi biomassa, *circulating fluidized bed* (CFB), *computational fluid dynamic* (CFD), ANSYS

Abstract

Gasification of biomass in a reactor *Circulating Fluidized Bed* (CFB) has the potential for the development of clean technologies and the improvement of the quality of the resulting fuel gas. The process of pyrolysis or gasification is a thermal decomposition process in which the carbon chains of biomass split into gases CO, CO₂, CH₄, and H₂. Based on the advantage which is owned by the CFB reactor, to know how the gasification process is carried out in the reactor simulation process. Simulation and analysis of the characteristics of biomass gasification is done to get a visualization of the characteristics of biomass gasification using *Computational Fluid Dynamic* (CFD). CFD methods contained in ANSYS 14.5 is used to determine the dimensions and configuration of the system at CFB biomass gasification reactor such as the distribution of temperature, pressure distribution, fluid flow, and direction of the particles during the process of biomass gasification. In the simulation results showed that the flow velocity in the reactor is relatively common along the steeper the reactor, the pressure distribution is greater at the bottom and at the top of the reactor tends to shrink, the composition of CO and H₂ can not be detected but for a fraction of the fuel gas is already visible along the height of the reactor CFB. The entire results of CFD simulation has merepresentasikan characteristics of gasification CFB namely fluidization velocity design 0.7 m / s and minimum fluidization velocity 0.07 m / s that can be seen in one simulation with input MFR 0.00709 kg / s and the air speed 2.35 m / s has the value of the flow rate or fluidization 1,638 m / s; 2,234 m / s; and 2952 m / s are seen from three points to review.

Keywords : biomass gasification, *circulating fluidized bed* (CFB), *computational fluid dynamic* (CFD), ANSYS

1. Pendahuluan

Gasifikasi biomassa didalam reaktor *Circulating Fluidized Bed* (CFB) merupakan suatu jenis reaktor yang memiliki keunggulan dari beberapa jenis reaktor atau unggun seperti reaktor *jenis updraft*, *downdraft*, dan *entrained flow*. Proses gasifikasi dari bahan biomassa merupakan suatu proses pirolisa atau dekomposisi termal dimana bahan dasar biomassa terpecah menjadi gas-gas CO, CO₂, CH₄, dan H₂. Proses dekomposisi termal dari biomassa dapat digunakan sebagai salah satu cara dalam menghasilkan gas bakar syn gas. Syn gas memiliki komposisi sekitar 18-20% H₂, 18-20% CO, 2-3% CH₄, 12% CO₂, 2.5 H₂O dan sisanya N₂ [1].

Dengan keunggulan yang dimiliki oleh reaktor CFB maka akan dilakukan penelitian berupa simulasi karakteristik gasifikasi biomassa yang terdapat pada reaktor CFB. Simulasi tersebut dilakukan untuk mengetahui bagaimana terjadinya proses gasifikasi yang terdapat pada reaktor CFB. Untuk melakukan penelitian tersebut tentunya diperlukan beberapa parameter yang harus diperhatikan agar hasil simulasi dapat mendekati kesamaan proses penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dalam reaktor CFB yang terdapat di Laboratorium Fisika Industri dan Lingkungan LIPI.

Simulasi dan analisis terhadap karakteristik gasifikasi biomassa dilakukan untuk mendapatkan visualisasi karakteristik gasifikasi biomassa serta dapat digunakan sebagai kegiatan *pra-engineering*. Penelitian ini akan difokuskan pada pembuatan simulasi dan analisis untuk mengetahui berbagai fenomena dan karakteristik proses gasifikasi yang terdapat pada reaktor CFB dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Metode CFD digunakan untuk menentukan dimensi dan konfigurasi sistem di reaktor gasifikasi biomassa CFB. Setelah melakukan simulasi dan analisis pada reaktor yang telah dilakukan maka data hasil tersebut akan dibandingkan dengan data parameter yang telah didapatkan dari penelitian sebelumnya yaitu pada reaktor CFB di Laboratorium Fisika Industri dan Lingkungan LIPI. Perbandingan data parameter ini dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan, apakah simulasi yang dibuat sudah sama atau mendekati dengan fenomena dan karakteristik gasifikasi biomassa pada reaktor CFB yang sudah ada

2. Dasar Teori

2.1 Biomassa

Biomassa merupakan suatu bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis. Untuk contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, limbah pertanian, limbah hutan, maupun kotoran ternak. Selain digunakan untuk menjadi bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, dan lain sebagainya, biomassa dapat digunakan sebagai sumber energi bahan bakar. Pada biomassa menghasilkan tiga produk pokok sebagai bahan dasar untuk bahan bakar. Tiga produk pokok tersebut yaitu [2]

1. Liquid ethanol, biodiesel, methanol, minyak nabati, dan minyak pirolisis
2. Dalam bentuk gas (biogas (CH_4 , CO_2), bahan penghasil gas (CO , H_2 , CO_2), syn gas (CO , H_2), pengganti gas alami (CH_4))
3. Bahan Solid

2.2 Proses Gasifikasi

Gasifikasi merupakan suatu proses untuk mengkonversi bahan baku berupa zat padat maupun zat cair menjadi gas, uap, dan char. Untuk hasil proses biomassa yaitu berupa gas produk (syn gas) yang dapat dibakar untuk menjadi sumber energi. Gas hasil dari proses biomassa memiliki kandungan seperti gas CO dan H_2 yang didapatkan melalui proses pembakaran tidak sempurna. Proses pembakaran tersebut dilakukan dengan cara memberikan udara yang dibatasi didalam reaktor.

Dalam sebuah proses gasifikasi biomassa yaitu mengubah bahan bakar padat menjadi gas produk melalui beberapa tahapan yang harus dilalui. Tahapan tersebut seperti yang dijelaskan pada gambar 1 dan penjelesannya sebagai berikut :

1. Pengeringan (*drying*).
2. Dekomposisi termal atau pirolisis
3. Pembakaran parsial dari beberapa gas, uap, dan char.
4. Reduksi.

2.3 Reaktor *Circulating Fluidized Bed*

Proses gasifikasi pada reaktor *Fluidized Bed* adalah terjadinya peristiwa berupa partikel padat yang akan diberikan dorongan udara dengan cukup cepat untuk menjaga agar material *bed* tetap dalam keadaan diberikan tekanan. Pada sistem ini tidak terdapat batasan proses seperti pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Dalam sistem tersebut, terdapat banyak parameter seperti kecepatan superfisial, ukuran partikel, tekanan di gasifikasi, hidrodinamika, dan reaksi *char*. Parameter tersebut memberikan peran penting dalam kinerja reaktor.



Gambar 1. Reaktor Gasifikasi *Circulating Fluidized Bed*

Menurut Dr Haifa Wahyu dan tim menjelaskan melalui hasil penelitian bahwa pada reaktor CFB yang terdapat di Laboratorium Fisika Lingkungan dan Industri bahwa pada reaktor CFB yang terdapat disana memperlihatkan bahwa tekanan terlihat besar pada bagian bawah reaktor, sedangkan pada bagian atas tekanan sudah mulai mengecil. Sedangkan kecepatan aliran didalam reaktor relatif sama sepanjang tinggi reaktor, yang berarti tidak ada kehilangan kecepatan karena friksi. Bagan *streamline* menunjukkan aliran yang relatif konstan sepanjang reaktor [1].

2.4 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CFD) didalamnya terdapat metoda numerik dan algoritma untuk sistem analisis aliran fluida, perpindahan kalor dan massa, reaksi kimia dan lain sebagainya dengan menggunakan model matematis yang valid secara simultan menggunakan computer. CFD memiliki langkah-langkah sistematis yang harus dipenuhi agar hasil analisis menjadi akurat. Tahap dalam CFD tersebut adalah *pre-processing*, *solver*, dan *post-processing*.

a. *Pre-processing*

Pre-processing merupakan langkah pertama dalam membuat dan menganalisa sebuah model CFD. Meliputi analisa awal mengenai fenomena yang terjadi serta pengumpulan data yang diperlukan untuk metode solver. Dalam tahapan ini dilakukan tiga hal yaitu pembuatan model benda dengan menggunakan *software CAD* (*Computer Aided Design*), membuat mesh yang sesuai, dan memasukan batas-batas kondisi yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, pembuatan model benda dilakukan dengan *software SOLIDWORK* dan pengenerasian *mesh* dilakukan pada *software ANSYS ICFM CFD 14.5*

b. *Solver*

Pada tahapan *Solver*, CFD menghitung kondisi-kondisi batas yang telah diterapkan pada saat *pre-processing*, lalu melakukan iterasi atau perhitungan.

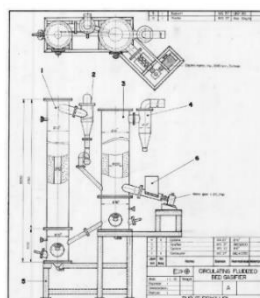
c. *Post-processing*

Tahapan terakhir dalam analisis CFD. Merupakan tahap visualisasi berdasarkan hasil tahapan sebelumnya. Visualisasi hasil CFD tersebut berupa gambar, kurva, animasi, plot vektor, dan plot kontur.

3. Pemodelan dan Simulasi

3.1 Model Reaktor *Circulating Fluidized Bed*

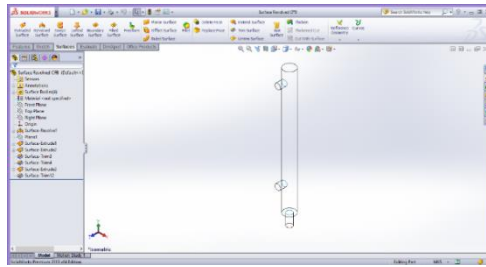
Reaktor CFB yang digunakan pada penelitian ini merupakan reaktor gasifikasi di Laboratorium Fisika Energi dan Lingkungan Lipi. Reaktor CFB yang digunakan pada penelitian ini memiliki reaktor gasifikasi dan pembakaran. Pada penelitian ini yang disimulasikan adalah hanya reaktor gasifikasi. Oleh karena itu, pada gambar 3 merupakan hasil desain untuk reaktor gasifikasi yang akan disimulasikan Reaktor tersebut dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2. Reaktor CFB

3.2 Proses Simulasi

a. Model Komputasi

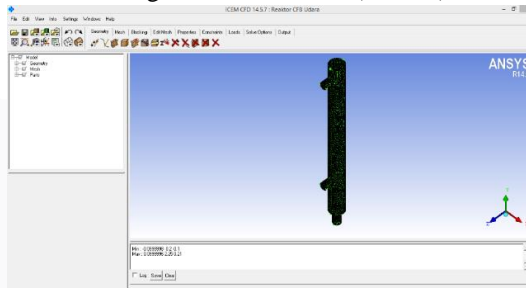


Gambar 3. Model Reaktor Gasifikasi CFB pada Solidwork 2013

Model geometri reaktor gasifikasi CFB dibuat di *software* Solidwork 2013 yang sesuai dengan dimensi reaktor yang akan disimulasikan. Reaktor tersebut memiliki tinggi 225 cm dengan diameter 20 cm

b. Penggenerasian Mesh

Dalam pemodelan reaktor gasifikasi CFB ini, penggenerasian *mesh* dilakukan di ANSYS ICEM CFD 14.5. pengaturan ukuran *mesh* dimaksudkan untuk mendapat kerapatan yang lebih besar pada daerah-daerah yang menjadi inti pada saat simulasi. Dengan demikian, dapat diperoleh suatu bentuk penggenerasian *mesh* yang optimal dan dapat menghemat waktu dan usaha untuk melakukan perhitungan komputasi. Pada *shell meshing parameters*, dipilih *All Tri* untuk tipe *mesh* dan *patch dependent* untuk *mesh method*. Pada *volume meshing*, tipe parameter *meshing* dipilih tipe *Tetra/Mixed* dengan metode *Robust (Octree)*.



Gambar 4. Hasil Proses Meshing dengan ANSYS ICEM CFD 14.5

c. Turbulence Models

Dalam penelitian ini, model turbulensi yang digunakan untuk proses simulasi adalah k-epsilon. Hal ini dikarenakan k-epsilon memiliki kondisi turbulensi yang stabil, akurasi yang cukup untuk berbagai jenis aliran turbulen, cocok untuk simulasi aliran eksternal, dan memiliki nilai ekonomis dari segi komputasi.

d. Pendefinisian Material

Fluida dan partikel yang digunakan dalam kasus ini adalah *gas mixture*, biomassa serbuk gergaji, dan udara. Untuk udara memiliki komposisi fraksi CO_2 (0.000314), H_2O (0.01), dan O_2 (0.209476). Biomassa serbuk gergaji, disesuaikan dengan proximate dan ultimate analisis yang telah didapatkan dimasukkan kedalam fluida yang akan dimasukkan pada simulasi reaktor gasifikasi CFB.

Analisis elementer dasar kering dari serbuk gergaji adalah sebagai berikut:

- Karbon 48.31 %
- Hidrogen 6.19 %
- Nitrogen 0.13 %
- Oksigen 42.90 %

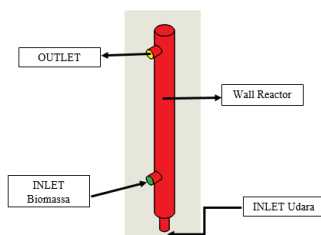
Analisis proksimat dari Serbuk gergaji dapat dilihat dibawah ini :

- Ash 2.35 %
- Fixed Carbon 15.47 %
- Moisture Fraction 11.03 %
- Volatile Matter 71.15 %

e. Pendefinisian Operasi dan Kondisi Batas

Pada kondisi batas *inlet* biomassa dan *inlet* udara, masukannya diatur sesuai dengan variasi yang digunakan. Untuk *inlet* biomassa, masukan *mass flow rate* akan di variasikan mulai dari 0.00709 kg/s, 0.03545 kg/s,

0.0709kg/s, dan 0.10635 kg/s . Kondisi batas yang digunakan pada simulasi ini yaitu *inlet biomassa*, *inlet udara*, *outlet*, dan *wall*. Pada Gambar 5 menunjukkan letak kondisi batas yang digunakan pada simulasi ini



Gambar 5. Kondisi batas pada proses simulasi

f. Proses Iterasi

Sebelum proses iterasi dilakukan, diperlukan untuk menginisiasi aliran yaitu untuk memasukan input awal. Setelah melakukan hal tersebut, iterasi dijalankan hingga memenuhi kriteria konvergensi atau keadaan *steady*. Pada kasus ini, iterasi awal dilakukan 500 kali dengan residual targetnya adalah 1.e.-5 atau 0.00001. Jika masih belum konvergen, jumlah iterasi dapat ditambah dan melakukan iterasi kembali.

g. Variasi Simulasi

Pada pengerjaan simulasi ini dilakukan variasi masukan *mass flow rate* dan masukan udara. Data *mass flow rate* didapatkan dari tabel 1 dengan frekuensi daya *supply feeder* 60 Hz pada 1 kg dan data masukan udara didapatkan dari tabel 2 berdasarkan bukaan valve.

Tabel 1. *Mass Flow Rate* Serbuk gergaji [3]

% Valve Throttlng	Kecepatan Udara (m/s)	Mass Flow Rate (kg/s)	Debit (m ³ /s)
100	2.35	0.08601	0.0738
50	2.32	0.08491	0.0729
25	1.76	0.06442	0.0553
20.79	0.47	0.01704	0.0146
12.99	0.29	0.01065	0.0091

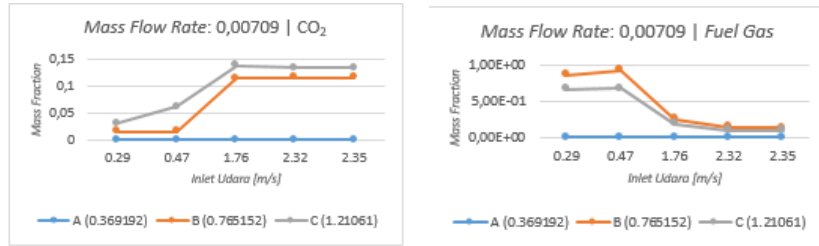
Tabel 2. Kecepatan Masukan Udara [3]

Frekuensi Daya Supply Feeder (Hz)	Massa Serbuk Gergaji (Kg)	Durasi Transfer (s)	Mass Flow Rate (kg/s)
10	1	712	0.00140
20	1	380	0.00263
30	1	242	0.00413
40	1	225	0.00444
50	1	170	0.00588
60	1	141	0.00709

4. Hasil dan Analisa

Pada paper ini, hanya memperlihatkan hasil CFD dengan masukan *mass flow rate* 0.00709 kg/ atau 1 kg berdasarkan frekuensi daya *supply feeder* 60 Hz. Untuk masukan udara divariasikan dengan 0.47 m/s , 1.76 m/s, 2.32 m/s, dan 2.35 m/s. Hasil CFD tersebut meliputi fraksi CO₂, fraksi *fuel gas*, H₂O, N₂, O₂, distribusi suhu, *streamline*, kecepatan aliran, vektor, dan distribusi tekanan di dalam reaktor. Pada penjelasan berikut menggambarkan bagaimana distribusi setiap karakteristik gasifikasi biomassa yang ditinjau. Penjelasaannya berupa grafik yang ditinjau dari tiga titik yaitu titik A (0.36192 m) , B (0.765152 m), C (1,21061 m). Sumbu X menunjukkan nilai variasi udara dan sumbu Y menunjukkan nilai *mass fraction* untuk setiap fraksi. Untuk penjelasan distribusi tekanan, suhu, kecepatan aliran sumbu X menunjukkan sesuai satuan masing-masing yaitu Pa, K, dan m/s .

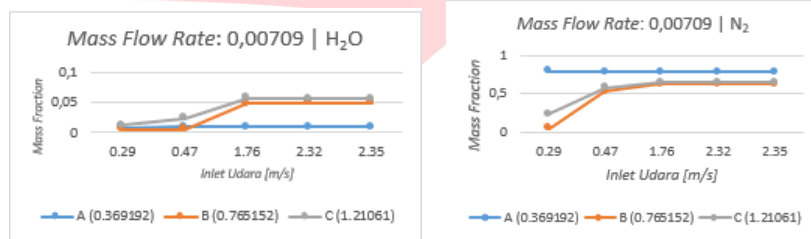
- *Mass fraction* CO₂ dan *Fuel Gas*



Gambar 6. Distribusi Fraksi CO₂ dan *Fuel Gas*, MFR 0.00709 kg/s

Seperti yang terlihat pada titik A, B, dan C fraksi CO₂ cenderung meningkat dari bawah reaktor sampai dengan atas reaktor. Dengan kecilnya nilai fraksi CO₂ dibawah reaktor yang diwakili oleh *sample* data di titik A dibandingkan pada bagian tengah reaktor sampai dengan atas reaktor yang diwakili oleh titik B dan C memiliki nilai fraksi yang lebih tinggi maka memperlihatkan bahwa area pembakaran terjadi pada bagian tengah sampai atas reaktor. Untuk grafik *fuel gas* di Gambar 7, sebarannya terdapat paling tinggi berada di area titik B yaitu disekitar *inlet* biomassa. Pada setiap masukan MFR yang telah diberikan, mulai masukan udara 1.76 m/s; 2.32 m/s; 2.35 m/s fraksi *fuel gas* memiliki nilai yang cukup kecil. Berdasarkan fenomena tersebut, masukan udara yang cepat dapat mempengaruhi distribusi *fuel gas* didalam reaktor.

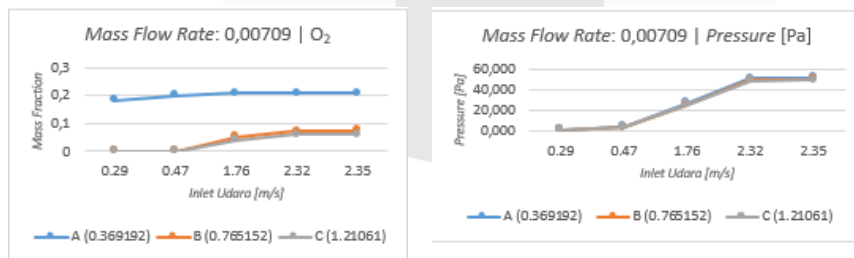
- *Mass fraction* H₂O dan N₂



Gambar 7. Distribusi Fraksi H₂O dan N₂, MFR 0.00709 kg/s

Untuk fraksi H₂O semakin tinggi reaktor memiliki nilai yang semakin tinggi, seperti *sample* data yang terdapat pada titik A, B, dan C. Secara keseluruhan, fraksi H₂O bernilai dua desimal dibelakang koma, jadi fraksi H₂O disepanjang tinggi reaktor bernilai kecil. Oleh karena itu, variabel H₂O pada proses gasifikasi tetap berpengaruh walaupun memiliki nilai fraksi yang kecil. Distribusi N₂ yang tertinggi terdapat di daerah bawah reaktor. Selain itu, pada masukan udara 1.76 m/s; 2.32 m/s; dan 2.35 m/s fraksi N₂ relatif memiliki nilai hampir sama. Hal tersebut menggambarkan bahwa distribusi N₂ cenderung sampai atas reaktor.

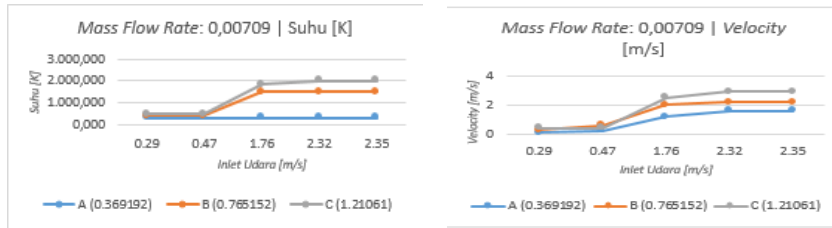
- *Mass fraction* O₂ dan *Pressure*



Gambar 8. Distribusi Fraksi O₂ dan *Pressure*, MFR 0.00709 kg/s

Untuk kondisi variasi masukan udara yang diberikan dari grafik memperlihatkan bahwa semakin cepat masukan udara yang diberikan maka nilai fraksi O₂ yang sampai atas reaktor akan semakin besar. Pada grafik diatas, fraksi memang tertinggi pada titik tinjau A yaitu area bawah reaktor dan apabila melihat pada titik B yaitu di sekitar area diatas masukan biomassa memiliki nilai fraksi yang cenderung rendah. Dalam grafik *pressure* diatas dapat dilihat bahwa dengan semakin cepat masukan udara yang diberikan pada reaktor maka tekanan didalam reaktor cenderung meningkat. Selain itu, nilai tekanan di setiap data *sample* pada titik A, B, dan C secara berurutan memiliki nilai tinggi cenderung menurun disetiap titiknya.

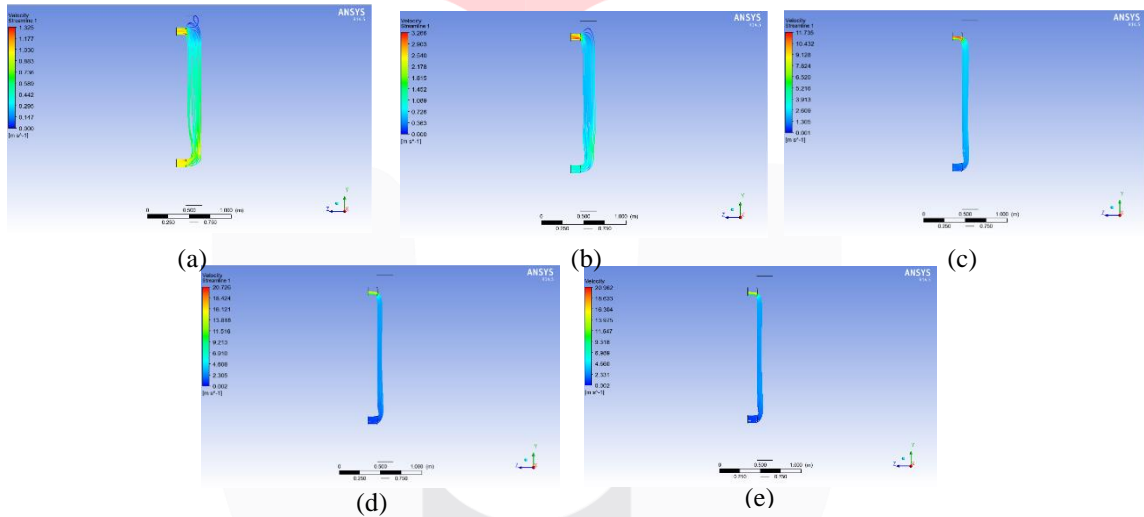
- Distribusi Suhu dan *Velocity*



Gambar 9. Distribusi Suhu dan *Velocity* , MFR 0.00709 kg/s

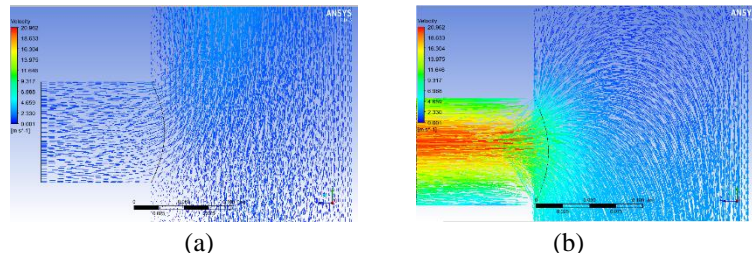
Pada grafik suhu memperlihatkan bahwa peningkatan suhu atau proses pembakaran terjadi di area sekitar *inlet* biomassa sampai atas reaktor. Secara keseluruhan pada hasil data *sample* dari proses simulasi CFD, distribusi pada reaktor bersifat fluktuatif dan distribusi suhu berada pada area tengah sampai atas reaktor. Bersifat fluktuatif dikarenakan adanya dorongan udara dari bawah serta terjadinya proses fluidisasi didalam reaktor. Pada grafik *velocity* terlihat bahwa semakin cepat masukan udara yang diberikan maka kecepatan aliran yang terjadi juga semakin cepat. Untuk kecepatan aliran disepanjang reaktor yaitu pada titik A, B, dan C kecepatan aliran disepanjang reaktor relatif sama dan bahkan cenderung meningkat yang memiliki arti bahwa disepanjang reaktor tidak terjadi kehilangan kecepatan karena friksi. Friksi merupakan suatu gaya permukaan yang melawan gerak relatif atau adanya gesekan pada dinding permukaan.

- Distribusi *Streamline* dan *Vector*



Gambar 10. Distribusi *Velocity*, MFR 0.00709 kg/s

Hasil CFD berupa *Streamline* memperlihatkan bagaimana kondisi aliran yang ingin dilihat seperti arah aliran dari *inlet* biomassa sampai *outlet* dan lain sebagainya. Dapat dilihat bahwa aliran *didalam* reaktor dengan mass flow rate 0.00709 kg/s walaupun masukan udara diubah-ubah menunjukkan aliran yang relatif konstan sepanjang reaktor.



Gambar 11. Distribusi *Velocity*, MFR 0.00709 kg/s

Pada Gambar 4.22 merupakan vektor disekitar area *inlet* dan *outlet* reaktor. Vektor hasil CFD tersebut dapat dilihat bahwa arah partikel berfluidisasi dan bergerak keatas seperti yang terlihat pada area *inlet* dan *outlet*

5. Kesimpulan

Pada reaktor CFB yang terdapat di Laboratorium Fisika Industri dan Lingkungan LIPI, syarat terjadinya proses gasifikasi adalah terjadinya fluidisasi minimum 0.07 m/s dan fluidisasi desain 0.7 m/s. Secara keseluruhan, hasil simulasi dengan proses maksimum iterasi 500 didapatkan data bahwa kecepatan aliran atau fluidisasi sudah tercapai dan memiliki kecepatan fluidisasi yang lebih tinggi, untuk menggambarkan hasil tersebut maka dapat dilihat dari salah satu hasil simulasi yaitu dengan masukan MFR 0.00709 kg/s dan kecepatan masuk udara 2.35 m/s memiliki nilai kecepatan aliran atau fluidisasi 1.638 m/s; 2.234 m/s; dan 2.952 m/s yang ditinjau dari tiga titik disepanjang tinggi reaktor. Pada salah satu hasil simulasi yang mewakili hasil simulasi secara keseluruhan yaitu dengan masukan MFR 0.00709 kg/s dan kecepatan masuk udara 2.35 m/s didapatkan bahwa distribusi tekanan disepanjang tinggi reaktor semakin mengecil dengan nilai 51.062 Pa dibagian bawah reaktor dan 49.395 Pa dibagian atas reaktor. Gerakan gas dari hasil simulasi CFD telah sama dengan karakteristik reaktor CFB yaitu gerakan gasnya kearah atas, peristiwa tersebut dapat dilihat dari format *vector* dan *streamline* dari hasil simulasi. Komposisi Syn Gas yaitu CO dan H₂ tidak dapat dideteksi tapi untuk fraksi *fuel gas* sudah terlihat disepanjang tinggi reaktor CFB. Distribusi suhu yang terjadi pada reaktor CFB bersifat fluktuatif dengan kondisi suhu pembakaran terjadi pada area tengah reaktor sampai atas reaktor dengan rentan suhu 400°C – 1800°C.

Daftar Pustaka

1. Wahyu Haifa DR., Djunaedi Imam Ir.,dkk, Perancangan dan Pengembangan Model Reaktor *Circulating Fluidized Bed* Untuk Gasifikasi Biomassa. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
2. Basu Prabir., (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis.*, Elsevier., USA
3. Budiarto Thomas., (2013). Identifikasi Sistem Untuk Perancangan Pengontrol Temperatur & Rasio Ekuivalensi Proses Gasifikasi Pada Reaktor Unggun Terfluidisasi.
4. Fletcher.D.F., B.S. Haynes., F.C Christo., S.D. Joseph .(1997). *Combustion Modelling for an Entrained Flow Biomass Gasifier*. Sydney-Australia
5. Mertzis Dimitrios., Sarvas Savvakis., Zissis Samaras. *CFD Simulation Of A Bubbling Fluidized Bed Biomass Gasifier using ANSA Meshing and ANSYS FLUENT*. Thessaloniki-Greece
6. Kai Zhang., Brandani Stefano .(2005). *CFD Simulation In A Circulating Fluidized-Bed Biomass Gasifier*. London-United Kingdom
7. Elisa Pieratti.,(2011). *Biomass Gasification in Small Scale Plants : Experimental and Modelling Analysis*,University of Trento., Italy
8. Singh R.I., Anders Brink., Mikko Hupa . (2012). *CFD Modeling to study fluidized bed combustion and gasification*. India & Finlandia.
9. Chodapaneedi.,Narsimhulu Sanke., Dr.D.N.Reddy. *CFD Simulation Of an Advanced Biomass Gasifier*. Hyderabad-India