

**SIMULASI NUMERIK PADA DOWNDRAFT GASIFIER BIOMASSA
DENGAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC***Rizqi Fitri Naryanto^{1*}, Mera Kartika Delimayanti²¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Sekaran Gunung Pati, Semarang 50229²Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta
Depok, Jawa Barat 16425*E-mail: rizqi_fitri@mail.unnes.ac.id

ABSTRACT

World energy demand has resulted in a surge in renewable energy needs. One of them is biomass. The gasification process takes place in a reactor called a gasifier, and the most effective way is to implement the Fixed Bed method on the downdraft gasifier. The process was executed in a downdraft gasifier because of the gas-making process without stopping the ignition and producing a small amount of tar. The biomass raw material used in this study is wood pellets because of their abundant availability in Indonesia. This research discussed numerical simulations for downdraft gasifier by utilizing wood pellet biomass as a raw material. The simulation technique is computational fluid dynamic with the DPM (Discrete Phase Model) because it can predict the experiment result details more precisely. The simulation results have shown that the convergence rate got better with the longer process iteration time. The simulation results were close to 100% in real-scale laboratory research results.

Keywords : *numerical simulation, downdraft, gasifier, biomass, computational fluid dynamic*

ABSTRAK

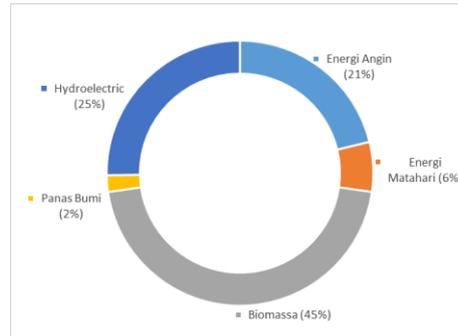
Kebutuhan energi dunia mengakibatkan lonjakan dalam kebutuhan energi terbarukan salah satunya adalah biomassa. Proses gasifikasi berlangsung dalam reaktor yang disebut gasifier dan yang paling efektif menggunakan metode *Fixed Bed* pada *downdraft gasifier* karena proses pembuatan gas berlangsung tanpa menghentikan penyalan pembakaran dan menghasilkan sedikit tar. Bahan baku biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah *wood pellet* karena ketersediaannya yang berlimpah di Indonesia. Pada penelitian ini membahas simulasi numerik untuk gasifier downdraft dengan memanfaatkan bahan baku biomassa berupa sumber kayu berbentuk *wood pellet*. Teknik simulasi yang digunakan adalah *computational fluid dynamic* dengan DPM (Discrete Phase Model) karena dapat memprediksi detail hasil experiment dengan lebih tepat. Hasil simulasi menunjukkan tingkat konvergensi yang bertambah baik dengan waktu iterasi proses yang semakin lama. Hasil simulasi mendekati 100% pada hasil riset di laboratorium dengan skala sesungguhnya.

Kata Kunci : *simulasi numerik, downdraft, gasifer, biomass, computational fluid dynamic*

PENDAHULUAN

Berdasarkan kebutuhan energi dunia, kebutuhan akan energi terus meningkat kurang lebih 30%, dalam kurun waktu 20 tahun ke depan, negara dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat akan mengalami lonjakan kebutuhan energi lebih dari 60% dari kebutuhan minyak dunia. Gambar 1

memaparkan bahwa biomassa adalah salah satu tenaga alternatif energi yang dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Sebaran energi terbarukan terdiri dari biomassa sebanyak 45 % dari kebutuhan total energi diikuti hydroelectric sebanyak 25% dan yang terkecil adalah panas bumi sebanyak 2%.



Gambar 1. Kebutuhan Energi Terbarukan di Dunia

Salah satu sumber energi terbarukan dan berlimpah adalah biomassa yang sudah digunakan semenjak lama. Biomassa di lingkungan berwujud dalam berbagai macam bentuk berupa potongan kayu dalam bentuk batang, ranting- ranting cabang kayu, limbah sisa hasil pertanian, batang kelapa sawit, pelepah kelapa sawit dan lain- lain (Fermi, Muhammad Iwan, 2014).

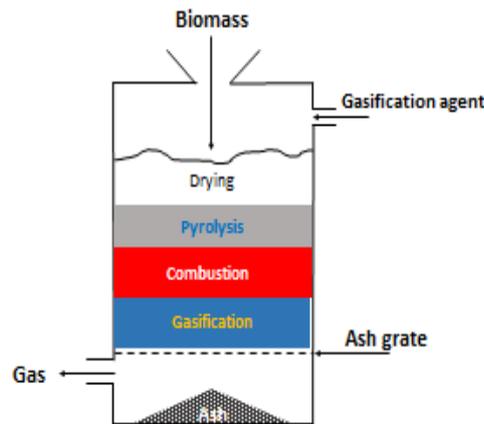
Proses gasifikasi biomassa adalah suatu proses reaksi kimia pada temperatur yang besar antara biomassa dalam bentuk bahan bakar padat dengan agen gasifikasi (*gasifying agent*) untuk menghasilkan bahan bakar berupa gas yang disebut sebagai *producer gas*. Proses gasifikasi berlangsung di dalam reaktor yang disebut dengan gasifier. Gasifier dikelompokkan dalam tiga kelompok berdasarkan kelakuan biomassa di dalam gasifier, yaitu sebagai berikut *Fixed bed* (unggun diam) ataupun *moving bed* (unggun bergerak), *Fluidized bed* (unggun terfluidisasi) serta *Entrained flow*. Tiap-tiap tipe gasifier tersebut mempunyai rentang aplikasi yang berbeda serta kegunaan yang berbeda beda (Simanungkalit, 2013). Unggun diam atau ungun bergerak diaplikasikan untuk pembangkit daya antara 10 – 10.000 kW, ungun terfluidisasi untuk pembangkit daya antara 5 – 100 MW, sedangkan *entrained flow gasifier* untuk pembangkit daya diatas 50 MW. Gasifier untuk ungun diam (*Fixed Bed*) merupakan gasifier paling sederhana untuk skala rendah dan mudah dioperasikan (Hsi et al., 2008).

Kelebihan gasifikasi dengan menggunakan jenis *downdraft gasifier* adalah proses gasifikasi dapat terus diisi bahan bakar secara kontinu sepanjang proses gasifikasi untuk memproduksi *producer gas* tanpa harus menghentikan penyalaan pembakaran, dan selain itu *downdraft gasifier* menghasilkan sedikit tar, dimana tar ini akan mengurangi efisiensi dari proses gasifikasi biomassa (Subroto, 2017). Bahan baku (*feed stock*) biomassa memiliki ciri khas tersendiri yang dapat dikembangkan berdasarkan ketersediaannya. Sumber *feedstock* untuk biomassa terutama di Indonesia memiliki sumber bahan baku yang berlimpah seperti kelapa sawit dan sumber kayu (*wood*) dengan berbagai variasi salah satu diantaranya berupa *wood pellet* (Telmo & Lousada, 2011). Pada penelitian ini akan membahas mengenai simulasi numerik untuk gasifier *downdraft* dengan memanfaatkan bahan baku biomassa berupa sumber kayu berbentuk *wood pellet*. Teknik simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) karena memiliki kelebihan dapat memprediksi detail dari hasil experiment dengan lebih tepat dan distribusi aliran dimodelkan secara alami dengan persamaan Lagrangian (Cloete & Amini, 2016).

METODE PENELITIAN

Proses biomassa yang digunakan dalam penelitian adalah proses gasifikasi dengan menggunakan proses *thermochemical*. Pada saat proses gasifikasi berlangsung akan disertai dengan

proses endotermis dimana diperlukan proses panas dari luar sistem untuk menjamin berlangsungnya proses gasifikasi di dalam gasifier. Dalam penelitian ini menggunakan gasifier type downdraft dengan proses pemasukan *feedstock wood pellet* dari atas gasifier, begitu juga dengan pemasukan udara juga melalui bagian atas gasifier yang dikontrol dengan flow meter dengan *air flow rate* 80 L/min. Proses Pemasukan feedstock dan oxidizer ditunjukkan pada Gambar 2. Gasifier yang digunakan memiliki spesifikasi seperti pada tabel 1.



Gambar 2. Penampang Downdraft Gasifier secara umum

Tabel 1. Spesifikasi Downdraft Gasifier

Spesifikasi Downdraft Gasifier	
Diameter	120 mm
Panjang	500 mm
Material	Stainless Steel
Feedstock	Wood Pellet
Oxidizer	Udara

Wood Pellet sebagai *feed stock* digunakan pada riset ini karena memiliki berbagai macam kelebihan diantaranya memiliki kandungan air yang lebih rendah dibanding dengan *wood chip* ataupun *feed stock* tipe yang lainnya (Naryanto et al., 2019; Telmo & Lousada, 2011). Diameter dari *wood pellet* yang digunakan rata-rata sekitar 6 mm dengan panjang kurang lebih 12 mm. *Wood pellet* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Wood Pellet untuk Feed stock

Teknik simulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *DPM (Discrete Phase Model)* dimana fase gas pada simulasi diselesaikan menggunakan persamaan Navier-Stokes dan gerakan fase partikel diselesaikan menggunakan hukum gerak kedua Newton. Adapun persamaan yang terkait dengan fase gas yang terlibat dalam persamaan konversi massa dan persamaan konversi momentum sebagai berikut :

Persamaan konversi massa untuk fase gas:

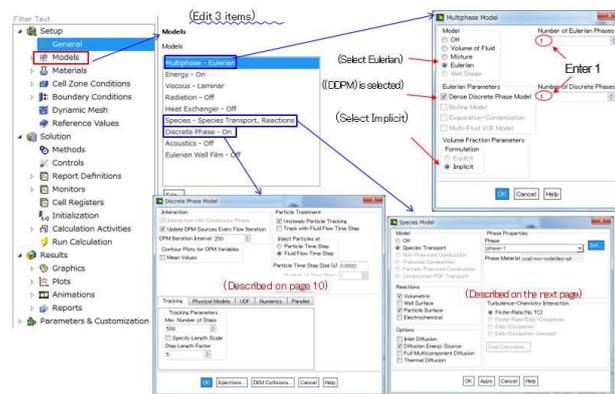
$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_g \rho_g) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g v_g) = 0 \tag{1}$$

Persamaan konversi momentum untuk fase gas:

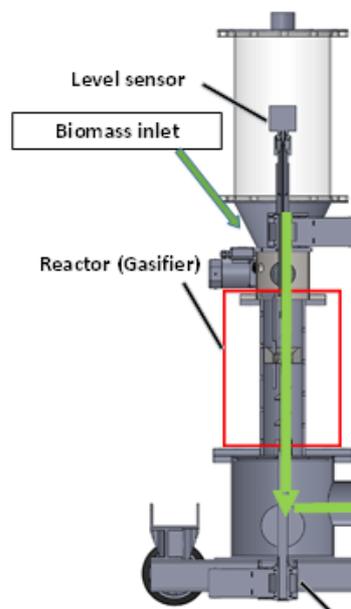
$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_g \rho_g v_g) + \nabla \cdot (\varepsilon_g \rho_g v_g v_g) = -\varepsilon_g v_p + \nabla \cdot \tau_g + \varepsilon_g \rho_g g + K_{gp} (v_p - v_g) \tag{2}$$

Dimana ε_g adalah fraksi volume dari fase gas, ρ_g adalah densitas fase gas, v_g adalah velocity fase gas, v_p adalah velocity fase padat, p adalah tekanan gas dibagi pada kedua fase gas dan fase padat, τ_g adalah stress tensor dari fase gas, g adalah kecepatan gravitasi, dan K_{gp} adalah koefisien pertukaran momentum antar fase dari padatan ke fase gas per satuan volume sel.

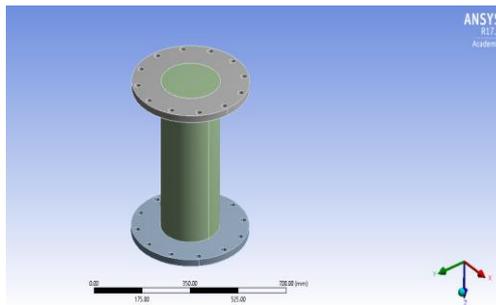
Pada penelitian ini menggunakan simulasi pemodelan downdraft gasifier dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Fluent Ansys 17.2 untuk mendapatkan simulasi *counter* tekanan dan *velocity head* pada gasifier, hal ini bertujuan untuk melihat efisiensi dari gasifier tersebut. Model besaran yang dipilih dalam Fluent sesuai pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan penampang downdraft gasifier pada experiment dan pada simulasi CFD.



Gambar 4. Pilihan Opsi Menu Simulasi pada Fluent Ansys



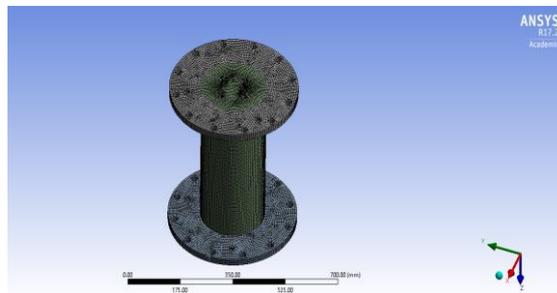
Gambar 5. Penampang Downdraft Gasifier Pada Experiment



Gambar 6. Penampang Downdraft Gasifier pada Simulasi CFD

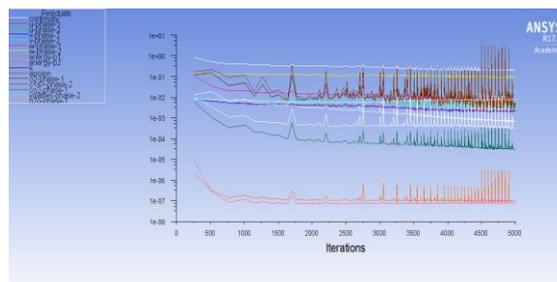
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses simulasi tahapan pertama yang harus dilakukan adalah melakukan proses desain. Setelah proses desain dari gasifier selesai dilakukan, proses selanjutnya yaitu melakukan proses meshing agar penghitungan tiap node menjadi lebih mudah dan hasil perhitungan menjadi lebih presisi. 150,37 nodes dan 139,12 elements dengan *unstructured grid mesh* digunakan untuk melakukan proses simulasi dan quality minimum orthogonal dengan nilai 0,55 dan maximum orthogonal skew quality dengan nilai 0.37 sehingga didapatkan hasil meshing seperti Gambar 7.



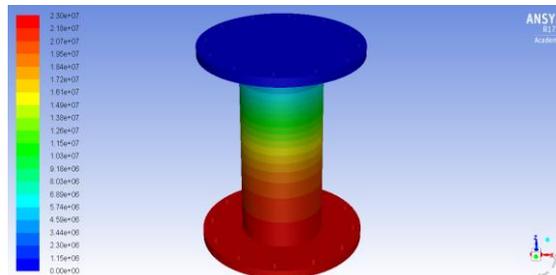
Gambar 7. Hasil Meshing

Setelah proses meshing tahap selanjutnya adalah proses iterasi, dengan menggunakan maximal iteration 50, time step size 0,001s dan number of time step 100 serta sampling interval senilai 1, maka didapat hasil iterasi seperti pada Gambar 8. Hasil proses iterasi residual menunjukkan pada iterasi 3000 sudah didapatkan hasil yang mulai convergen sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa semakin lama proses iterasi dilakukan maka akan didapatkan kecenderungan hasil yang convergen dan hal ini membuktikan bahwa perhitungan simulasi mendekati ketelitian dengan hasil sebenarnya.

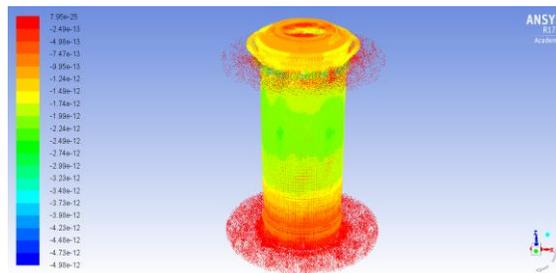


Gambar 8. Proses Iterasi Scaled Residual

Contour dari Tekanan yang terjadi pada gasifier selama proses gasifikasi berlangsung dapat dilihat pada Gambar 9 dimana terlihat bahwa distribusi tekanan akan semakin meningkat pada bagian bawah reaktor gasifikasi yang ditandai dengan warna merah dengan tekanan maximal sebesar $2,30e+07$. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin ke bawah, maka tekanan yang dihasilkan dari proses gasifikasi semakin besar dan menunjukkan bahwa *feedstock* juga tertransformasi menjadi producer gas.



Gambar 9. Contour of Pressure



Gambar 10. Vector of Velocity Color By Heat of Reaction

Gambar 10 menunjukkan vector velocity dari Heat Reaction yang menjelaskan bahwa panas dari proses gasifikasi terjadi secara merata dan posisi paling bawah dari gasifier mengalami proses distribusi panas paling besar sehingga sebagian besar *wood pellet* dari fasa padat berubah menjadi fasa gas dan dihasilkan producer gas, dimana sebagian besar produser gas yang dihasilkan berupa CH_4 , CO , CO_2 , H_2 , dan N_2 (Gómez-Barea et al., 2013)(Naryanto et al., 2020).

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil simulasi yang telah dilakukan pada penelitian ini menunjukkan tingkat konvergensi yang bertambah baik seiring dengan waktu iterasi proses yang semakin lama. Selain itu, pada bagian bawah gasifier akan mengalami proses distribusi tekanan dan distribusi temperatur yang lebih besar, dan bila distribusi tekanan maupun distribusi panas terjadi secara seragam (*uniform*) maka proses gasifikasi semakin baik sehingga dihasilkan produser gas yang lebih baik. Dari proses simulasi didapatkan hasil yang mendekati 100% dengan hasil riset di laboratorium dengan skala sesungguhnya, hal ini sangat membantu pada proses penelitian karena dapat menghemat waktu dan tenaga.

DAFTAR PUSTAKA

Cloete, S., & Amini, S. (2016). *The dense discrete phase model for simulation of bubbling fluidized beds: Validation and verification*. 7.
 Fermi, Muhammad Iwan. (2014). Pemanfaatan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) Dalam Perancangan Kompur Biomassa. *Jurnal Teknobiologi*, V(1), 15–19.

- Gómez-Barea, A., Ollero, P., & Leckner, B. (2013). Optimization of char and tar conversion in fluidized bed biomass gasifiers. *Fuel*, *103*, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.04.042>
- Hsi, C.-L., Wang, T.-Y., Tsai, C.-H., Chang, C.-Y., Liu, C.-H., Chang, Y.-C., & Kuo, J.-T. (2008). Characteristics of an Air-Blown Fixed-Bed Downdraft Biomass Gasifier. *Energy & Fuels*, *22*(6), 4196–4205. <https://doi.org/10.1021/ef800026x>
- Naryanto, R. F., Enomoto, H., Hieda, N., Teraoka, Y., Chunti, C., & Noda, R. (2019). The Influence of Wood Pellet Feedstock Water Content on Tar Component in Biomass System Using Downdraft Gasifier. *Journal of the Japan Institute of Energy*, *98*(5), 115–118. <https://doi.org/10.3775/jie.98.115>
- Naryanto, R. F., Enomoto, H., Vo Cong, A., Fukadu, K., Zong, Z., Delimayanti, M. K., Chunti, C., & Noda, R. (2020). The Effect of Moisture Content on the Tar Characteristic of Wood Pellet Feedstock in a Downdraft Gasifier. *Applied Sciences*, *10*(8), 2760. <https://doi.org/10.3390/app10082760>
- Simanungkalit, S. P. (2013). *SIMULASI NUMERIK PROSES GASIFIKASI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT*. 11.
- Subroto, S. (2017). KINERJA TUNGKU GASIFIKASI DOWNDRAFT CONTINUE BAHAN BAKAR SEKAM PADI. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, *18*(1). <https://doi.org/10.23917/mesin.v18i1.3946>
- Telmo, C., & Lousada, J. (2011). Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*, *35*(7), 2634–2639. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.043>