

Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar Terhadap Kualitas Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft Dengan Suplai Biomass Serabut Kelapa Secara Kontinyu

Sholehul Hadi dan Sudjud Dasopuspito

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail : sudjud@me.its.ac.id

Abstrak—Salah satu bentuk energy alternatif adalah gasifikasi biomassa. Biomas yang digunakan adalah serabut kelapa muda karena jumlahnya melimpah dan belum maksimal dimanfaatkan oleh masyarakat. Gasifikasi dari serabut kelapa dijadikan syn gas untuk bahan bakar terbarukan dan dapat diperbaharui. Dengan peralatan reactor gasifikasi dapat dihasilkan (Air Fuel Ratio) terbaik untuk sistem pemasukan serabut kelapa kontinyu 0,5 kg/10 menit, melalui putaran dimmer pada sentrifugal blower diberikan 4 variabel yaitu 5, 7, 9, 10. Dan memvariasikan ukuran serabut kelapa 10-50 mm dan 50-100 mm. Hasil menunjukkan untuk: zona pengeringan pada temperatur (T_1) sampai 100°C, zona pirolisis pada temperatur (T_2) sampai 350°C, zona oksidasi parsial pada temperatur (T_3) sampai 600°C, zona reduksi pada temperatur (T_4) sampai 450°C, indikator temperatur synthetic-gas pada temperatur (T_5) sampai 120°C dan kandungan energi terbaik ditinjau dari LHV syn-gas dihasilkan pada variasi AFR 1,06 untuk ukuran serabut kelapa 50-100 mm dengan efisiensi reaktor gasifikasi sebesar 69,87%. Pada variasi AFR tersebut dihasilkan komposisi flammable gas sebagai berikut : CO = 20,8%, H₂ = 5,34%, dan CH₄ = 4,5%. Untuk variasi ini prosentase kandungan syn-gas dan laju alir massa syn-gas selama proses memiliki komposisi yang tepat sehingga visualisasi nyala api yang dihasilkan terdapat warna biru dengan suhu 353°C.

Kata Kunci—Biomassa, Energi Alternatif, Gasifikasi Downdraft, Serabut Kelapa, Sistem Kontinyu.

I. PENDAHULUAN

MINYAK bumi merupakan salah satu energi fosil tak terbarukan yang paling banyak digunakan sebagai bahan bakar di Indonesia pada saat ini. Konsumsi minyak bumi di Indonesia tiap tahunnya tercatat semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan kemajuan industrialisasi. Di sisi lain, produksi minyak nasional semakin lama semakin menurun. Untuk mengatasi krisis energi yang terjadi diperlukan suatu usaha untuk mencari sumber-sumber energi alternatif baru yang lebih murah dan dapat diperbaharui.

Salah satu bentuk energi alternatif adalah Biomass Energy yang merupakan pemanfaatan bahan biologis sebagai sumber bahan bakar. Energi alternatif ini sendiri sangat cocok untuk dikembangkan di Indonesia. Hal ini merujuk pada melimpahnya sumber bahan bakar biomassa di Indonesia seperti misalnya serabut kelapa yang selama ini belum

dimanfaatkan secara maksimal.

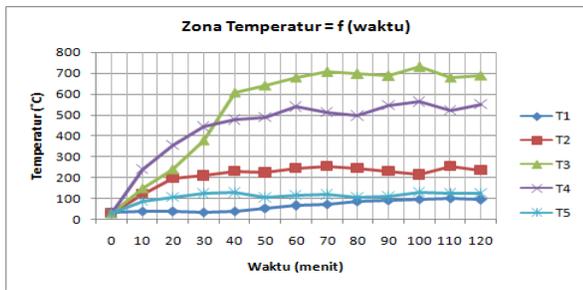
Proses gasifikasi merupakan salah satu proses pemanfaatan biomass energy yaitu dengan mengonversi energi dari bahan padat (biomassa) menjadi syn gas (gas hasil sintesa) yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan bakar. Proses gasifikasi ini hampir mempunyai kesamaan dengan proses pembakaran, hanya saja udara yang dimasukkan ke sistem gasifikasi sangat terbatas. Jenis-jenis proses gasifikasi yang telah dikembangkan adalah downdraft dan updraft. Diantara proses gasifikasi ini, yang paling sederhana dan mampu menghasilkan syn gas dengan kualitas yang cukup baik adalah sistem gasifikasi downdraft[1].

Usaha untuk mengoptimalkan proses gasifikasi downdraft salah satunya dapat dilakukan dengan pengaturan Air Fuel Ratio pada sistem. Penelitian proses gasifikasi downdraft ini sudah pernah dilakukan dengan memvariasikan AFR dengan pemasukan biomassa secara system bedz, namun hasil karakterisasi yang didapatkan kurang maksimal. Oleh karena itu penulis mengadakan penelitian untuk mengetahui karakteristik proses gasifikasi downdraft dengan sistem pemasukan biomassa serabut kelapa secara kontinyu dan variasi laju alir massa udara yang masuk ke sistem sehingga nantinya didapat proses gasifikasi downdraft yang optimal.

II. METODE

A. Tahap Telaah

Dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui gas hasil dari proses gasifikasi plastik digunakan metode eksperimental dengan menggunakan reaktor gasifikasi *downdraft*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (TPBB) ITS. Sistem reaktor gasifikasi *downdraft* yang digunakan adalah sistem kontinyu, yaitu sistem dimana proses pemasukan serabut kelapa dilakukan secara bertahap. Pada penelitian ini, variasi yang dilakukan adalah variasi *Air Fuel Ratio* (AFR) dan ukuran serabut kelapa. Variasi *Air Fuel Ratio* (AFR) dilakukan dengan cara mengatur udara yang masuk ke dalam reaktor melalui pipa *throat* reaktor kemudian diamati bagaimana proses distribusi temperatur yang terjadi di dalam reaktor selama operasi dari awal hingga serabut kelapa habis, dan bagaimana profil api yang dihasilkan.



Gambar 2. Distribusi temperatur = f(waktu) dengan variasi ukuran luasan serabut kelapa (50-100) mm².

Pada penelitian ini, bahan uji yang digunakan adalah serabut kelapa. Sebelum digunakan sebagai bahan baku proses gasifikasi tipe *downdraft*, terlebih dahulu serabut kelapa diolah. Berikut adalah tahapan pengolahan yang dilakukan:

1. Pengumpulan serabut kelapa

Serabut kelapa yang digunakan sebagai bahan baku adalah dari serabut kelapa muda.

2. Pencacahan serabut kelapa

Setelah serabut kelapa dikumpulkan kemudian serabut kelapa tersebut dicacah dengan menggunakan *parang*. Hal ini dikarenakan bentuk serabut kelapa besar sehingga perlu dicacah sesuai ukuran sample uji.

3. Penghilangan air pada serabut kelapa

Serabut kelapa banyak mengandung air. Sehingga diperlukan proses penghilangan air, dengan cara menjemur cacahan serabut kelapa di bawah sinar matahari.

Pada proses gasifikasi akan dihasilkan *synthetic gas*. Gas-gas yang terkandung dalam *synthetic gas* tersebut perlu diuji komposisinya. Selain menguji gas, *char* dan *ash* juga perlu diuji untuk mengetahui nilai kandungan kalor. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Analisis komposisi *synthetic-gas*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *gas chromatography*. Pada pengujian ini dapat diketahui komposisi gas hasil gasifikasi yang terdiri dari CO, H₂, CH₄, C₂H₆, CO₂, N₂ dan H₂O.

2. Analisis nilai kalor

Pada pengujian ini dianalisis mengenai nilai kalor bawah (*Lower Heating Value*) yang di uji pada alat bomb kalorimeter dimana, nilai yang keluar dari alat tersebut yaitu dalam bentuk *High Heating Value*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kandungan Nilai Kalor (LHV) Synthetic Gas

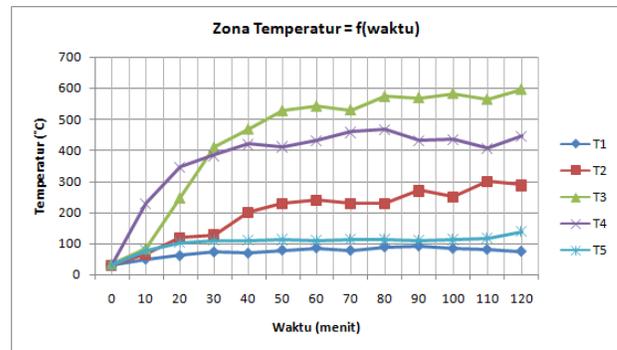
Berikut tabel nilai LHV *synthetic gas* pada variasi ukuran sampah plastik dengan variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*).

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa, nilai LHV *syn-gas* yang menurun seiring dengan peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*). Peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), akan meningkatkan suplai laju alir massa udara yang masuk ke dalam reaktor gasifikasi. Hal ini tentu saja mempengaruhi proses reaksi kimia pembentukan kandungan gas terbakar (*flammable gas*). Proses gasifikasi membutuhkan suplai udara terbatas sehingga kandungan gas terbakar (gas CO, H₂, CH₄ dan C₂H₆) akan cenderung

Tabel 1

Nilai LHV *synthetic gas* pada variasi ukuran serabut kelapa dengan variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*)

Ukuran Panjang Serabut Kelapa (mm)	Air Fuel Ratio (Rasio Udara Bahan Bakar)	Energi LHV Syn-Gas (Kj/Nm ³)
50-100	1.06	5049.1868
50-100	1.22	4583.1698
50-100	1.3	4266.6642
50-100	1.37	4003.7306
10-50	1.31	5323.7376
10-50	1.36	5072.1346
10-50	1.3	4344.2896
10-50	1.25	3939.7392



Gambar 1. Distribusi temperatur = f(waktu) dengan variasi ukuran luasan serabut kelapa 10-50 mm².

menurun seiring suplai laju alir massa udara yang semakin meningkat. Sebaliknya (gas CO₂, O₂ dan N₂) akan meningkat dengan kenaikan suplai laju alir massa udara.

B. Analisis Distribusi Temperatur

Dalam proses gasifikasi terdapat empat tahapan proses dalam menghasilkan *synthetic gas*, yaitu tahap *drying*, pirolisis, oksidasi parsial dan reduksi. Masing-masing tahapan tersebut memiliki interval temperatur yang berbeda sebagai indikatornya. Berikut adalah grafik distribusi temperatur reaktor pada variasi AFR terbaik yaitu AFR 1,3 dan ukuran luasan serabut kelapa 10-50 mm².

Pada grafik di atas termokopel 1 (T₁) memiliki rentang temperatur 33°C-80°C. Temperatur pada termokopel 1 mengindikasikan bahwa termokopel 1 masih merupakan permulaan zona *drying*, dimana kandungan *moisture* yang dimiliki serabut kelapa dihilangkan melalui proses penguapan atau *evaporasi*.

Untuk termokopel 2 (T₂) menunjukkan temperatur kisaran 31°C-300°C, mengindikasikan bahwa T₂ ini masuk pada zona pirolisis. Pada zona ini serabut kelapa yang bebas dari *moisture*, mengalami pemanasan terus-menerus dan diharapkan mampu menghilangkan kandungan *volatile* serabut kelapa. serabut kelapa yang mengalami pemanasan pada temperatur tinggi akan menyebabkan serabut kelapa terpecah menjadi arang (C), tar, gas dan produk pirolisa lain. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar, dan arang.

Sedangkan pada termokopel 3 (T₃), temperatur yang terjadi lebih tinggi yaitu 600°C. Zona pada termokopel 3 menunjukkan zona oksidasi parsial. Proses oksidasi parsial merupakan proses yang paling penting karena proses ini menghasilkan panas yang dibutuhkan oleh keseluruhan reaksi

yang terjadi pada reaktor gasifikasi. Pada termokopel 4 (T_4) memiliki temperatur kisaran 31°C - 450°C , mengindikasikan bahwa T_4 berada pada zona reduksi. Termokopel 5 (T_5) memiliki temperatur mencapai 110°C . Temperatur pada termokopel 5 merupakan indikator temperatur gas hasil gasifikasi yaitu *synthetic gas*.

Untuk ukuran luasan serabut kelapa ($50\text{-}100\text{ mm}^2$), posisi grafiknya lebih rendah dibandingkan dengan ukuran luasan serabut kelapa ukuran $10\text{-}50\text{ mm}^2$. Hal ini disebabkan karena dimensi pada ukuran serabut kelapa dengan luasan ($50\text{-}100\text{ mm}^2$) lebih besar, sehingga untuk mencapai temperatur pemanasan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan variasi serabut kelapa pada luasan ($50\text{-}100\text{ mm}^2$). Berikut adalah grafik distribusi temperatur reaktor pada ukuran luasan serabut kelapa ($50\text{-}100\text{ mm}^2$).

C. Analisis Visualisasi Api

Pada gambar 2 di bawah, menunjukkan visualisasi nyala api dengan $AFR = 1,31$ terlihat bahwa api menyala berwarna kebiruan dengan ujung berwarna merah jingga. Pada tungku api pipa keluaran dipasang sebuah termokopel untuk mendeteksi temperatur api. Temperatur nyala api pada variasi ukuran luasan serabut kelapa ukuran $10\text{-}50\text{ mm}^2$ adalah sebesar 380°C dan ukuran luasan sampah plastik $50\text{-}100\text{ mm}^2$ adalah sebesar 350°C .

Pada variasi AFR ini diperoleh nilai LHV (*Lower Heating Value*) *synthetic gas* yang cukup tinggi yaitu sebesar $5323,730\text{ kJ/m}^3$ untuk variasi ukuran luasan serabut kelapa $10\text{-}50\text{ mm}^2$ dan $5049,18\text{ kJ/m}^3$ untuk variasi ukuran luasan serabut kelapa $50\text{-}100\text{ mm}^2$. Dengan nilai LHV yang cukup tinggi ini menunjukkan masih cukup besarnya kandungan *flammable gas* (CO , H_2 , CH_4 , C_2H_6) yang terkandung di dalamnya. Kandungan *flammable gas* yang dimiliki oleh *synthetic-gas* saat AFR 1,31 masih memberikan profil api yang berwarna biru.

D. Efisiensi gasifikasi

Pada Gambar 4 menunjukkan *trendline* kenaikan nilai efisiensi gasifikasi pada AFR 1,06 ke 1,37 untuk Hal ini dikarenakan dengan faktor energi serabut kelapa yang konstan maka dipengaruhi oleh energi *synthetic gas*, dimana energi *synthetic gas* mempunyai faktor dari laju alir massa *synthetic gas* yang mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), kandungan energi dilihat dari LHV (*Lower Heating Value*) *synthetic gas* yang mengalami penurunan seiring dengan peningkatan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dikarenakan konsentrasi kandungan gas terbakar juga ikut menurun seiring pertambahan AFR, massa jenis *synthetic gas* yang mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*). Oleh karena itu efisiensi gasifikasi yang terbaik dengan variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) $1,06 : 1,22 : 1,3 : 1,37$ yaitu pada AFR 1,31. Dengan nilai efisiensi untuk ukuran luasan serabut kelapa $10\text{-}50\text{ mm}^2$ sebesar $66,17\%$. Sedangkan efisiensi ukuran luasan serabut kelapa $50\text{-}100\text{ mm}^2$ sebesar $65,84\%$.

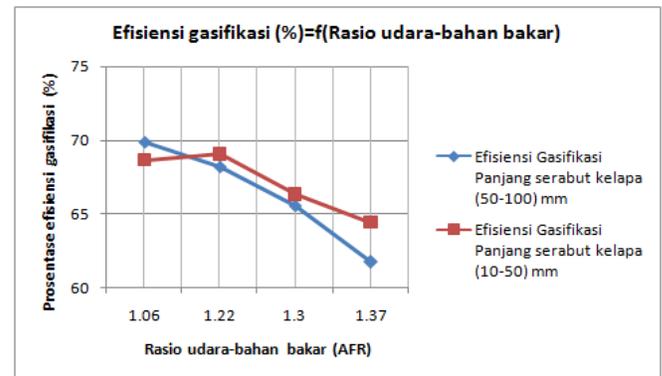


(a)



(b)

Gambar 3. Visualisasi nyala api pada $AFR = 1,31$. (a) ukuran luasan serabut kelapa $10\text{-}50\text{ mm}^2$. (b) ukuran luasan sampah plastik $50\text{-}100\text{ mm}^2$.



Gambar 4. Nilai efisiensi gasifikasi dengan variasi rasio udara bahan bakar.

IV. KESIMPULAN

1. Nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) semakin meningkat, maka mengakibatkan penurunan nilai kandungan energi ditinjau dari *Lower Heating Value synthetic-gas*.
2. Nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) yang terbaik ditinjau dari visualisasi nyala api yaitu pada AFR 1,31 untuk ukuran luasan serabut kelapa $10\text{-}50\text{ mm}^2$ dan ukuran luasan sampah plastik $50\text{-}100\text{ mm}^2$.
3. Nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) yang terbaik ditinjau dari efisiensi gasifikasi (%) yaitu pada AFR 1,31. Dimana nilai efisiensi gasifikasi sebesar $66,17\%$ untuk ukuran luasan serabut kelapa $10\text{-}50\text{ mm}^2$ dan nilai efisiensi gasifikasi sebesar $65,84\%$ untuk ukuran luasan serabut kelapa $50\text{-}100\text{ mm}^2$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Sudjud Darsopuspito ,MT , Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, Prof. Dr. Ir. H.D. Sungkono, M.Eng.Sc, dan Ir. Kadarisman yang telah memberikan bimbingan dalam penelitian dan penulisan artikel karya ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardianto, Ferry. 2011. *"Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Serpihan Kayu pada Reaktor Downdraft Sistem Batch Dengan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) dan Ukuran Biomassa"*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin-ITS.
- [2] Basu, Prabir. 2010. *"Biomass Gasification and Pyrolysis Practical design and Theory"*, Academic Press of Elsevier, United States of America.
- [3] Incropera P. Frank, and Dewitt P. David, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer, fifth edition chapter 6 page 327 ", New York, USA.
- [4] Jain Kr Anil, Mei 2006, "Design Parameters for A rice Husk Throatless Gasifier Reaktor", Journal internasional, India.
- [5] Manya J. Joan, Sancez L. Jose, Abrego Javier, Gonzalo Aleberto, and Arauzo Jesus, Desember 2005, "Influence of Gas Residence and Air Ratio on The Air Gasification.
- [6] Naruse, I., Gani, Morishita, K., 2001, Fundamental Characteristic on Co-Combustion of Low Rank Coal with Biomass, hal 901-907, vilamorra , Portugal.
- [7] Pengmei Lv., Zhenhong Yuan, Longlong Ma, Chuangzhi Wu, Yong Chen and Jingxu Zhu, 2006, "Hydrogen-Rich Gas Production from Biomass Air and Oxygen/Steam Gasification in a Downdraft Gasifier", Journal internasional, China.
- [8] Rajvanshi, A., 1986, Biomass Gasification - chapter 4 page 85-87 in book Alternative Energy in Agriculture. Y. Goswani., India.
- [9] Robert W. Fox, Alan T. McDonald and Philip J. Pritchard, "Introduction to Fluid Mechanics, seventh edition chapter 4 page 99", New York, USA.
- [10] Satake, 2006 "Biomass Gasification and Solution for Agro Waste", Journal internasional, Tokyo, Japan.
- [11] Setiawan, Dimas., 2010, "Karakteristik Proses Gasifikasi Downdraft Berbahan Baku Sekam Padi Dengan Desain Sistem Pemasukkan Biomassa Secara Kontinyu.