

PENGARUH JENIS DAN UKURAN BIOMASSA TERHADAP PROSES GASIFIKASI MENGGUNAKAN DOWNDRAFT GASIFIER

Faishal Mufid

Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
faishalmufid14@gmail.com

Samsudin Anis

Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
samsudin_anis@mail.unnes.ac.id

Biomass is alternative energy. This research was conducted to determine the effect of biomass type and size on the gasification process using a downdraft gasifier. Sengon and mahogany woods were used as the feedstock. The study began by conducting a proximate test of biomass feedstock to find out its properties. Then the gasification process was studied by using two sizes of biomass i.e. wood chips and blocks. Each experiment was carried out for 90 minutes and 10 kg of biomass. The air was supplied at 3 m/s. The results showed that the type and size of biomass affected the gasification temperatures, flame characteristics, and residues. Sengon wood chips provided the highest gasification temperature of 1239°C in the oxidation zone with a flame duration of 77 minutes and residue of 9.1 wt.%. For mahogany wood chips in the sequence were 1220°C, 68 minutes and 16.25 wt.%. Meanwhile for wood chips mixture of sengon and mahogany gave the flame duration of 55 minutes and residue of 15.65 wt.%. Overall, it can be concluded that under the investigated condition, a sengon wood chip was found to be the most suitable biomass for the downdraft gasifier used in this work.

Keywords: Sengon Wood, Mahogany Wood, Biomass Size, Gasification, Downdraft Gasifier.

1. PENDAHULUAN

Hingga saat ini, energi konvensional masih merupakan sumber energi utama yang digunakan masyarakat dan industri di Indonesia. Hal ini dimungkinkan karena Indonesia memiliki cadangan terbukti minyak yang cukup besar yaitu 3,7 miliar barel atau 0,3% dari cadangan terbukti minyak dunia [1]. Namun, setiap tahun konsumsi bahan bakar fosil khususnya minyak bumi, gas alam maupun batu bara semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang semakin tinggi. Berdasarkan data dari *Integrated Green Business* (IEC), Indonesia merupakan salah satu negara dengan pertumbuhan konsumsi energi yang cukup tinggi di dunia yaitu 7% per tahun. Data menunjukkan bahwa sektor industri merupakan sektor dengan konsumsi energi tertinggi yaitu sebesar 50%. Sedangkan konsumsi energi pada sektor transportasi, rumah tangga, dan komersial masing-masing sebesar 34%, 12%, dan 4%. Hampir 95% konsumsi energi tersebut dipenuhi dari bahan bakar fosil, yang mana 50%-nya menggunakan bahan bakar minyak [1]. Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus akan mengakibatkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis yang berdampak pada kelangkaan bahan bakar.

Salah satu solusi terbaik untuk mengatasi kelangkaan bahan bakar fosil adalah dengan menyediakan bahan bakar dari sumber energi alternatif. Energi alternatif merupakan energi yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui dengan memanfaatkan hasil alam atau limbah yang mengandung biomassa. Energi biomassa kayu merupakan sumber energi dominan bagi masyarakat pedesaan. Lima puluh persen penduduk Indonesia masih menggunakan biomassa kayu yang dibakar langsung sebagai sumber energi dengan konsumsi sekitar 1,2 m³/orang/tahun [2]. Salah satu bahan baku biomassa yang potensial adalah limbah

kayu seperti kayu sengon dan kayu mahoni. Kayu sengon memiliki densitas 320 – 640 kg/m³ pada kadar air 15%, termasuk dalam kategori ringan hingga agak ringan [3]. Kayu sengon merupakan tanaman asli Indonesia yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia dengan umur panen kurang lebih 7 tahun. Sementara, kayu mahoni umumnya dipanen pada umur kurang lebih 10 tahun dengan diameter 10-14 cm dan memiliki kualitas yang sangat baik dengan densitas 530 kg/m³ hingga 720 kg/m³ [4]. Kedua jenis kayu tersebut memiliki berbagai kegunaan dan masa panen yang relatif cepat dibanding jenis kayu lainnya. Hal ini bisa menjadi dasar bahwa kayu sengon dan kayu mahoni memiliki potensi besar sebagai bahan baku energi terbarukan.

Salah satu teknologi yang dapat diterapkan untuk penyediaan energi terbarukan dari biomassa adalah gasifikasi. Gasifikasi biomassa adalah serangkaian reaksi kimia dari komponen-komponen biomassa pada suhu tinggi dengan udara terbatas untuk memproduksi gas yang umumnya mengandung CO, H₂ dan CH₄ [5]. Teknologi gasifikasi merupakan teknologi yang paling baik untuk mengkonversi biomassa kayu menjadi gas dibandingkan dengan teknologi lainnya seperti teknologi pirolisis dan biokimia [6]. Keuntungan dari proses gasifikasi adalah hasil pembakaran gas lebih bersih dan bahan baku biomassa yang mudah didapat. Selain itu, di antara berbagai jenis reaktor gasifikasi, tipe *downdraft gasifier* mampu menghasilkan gas yang lebih bersih (bebas tar) dan mudah dioperasikan [7].

Beberapa penelitian tentang gasifikasi biomassa menggunakan reaktor tipe *downdraft* menunjukkan bahwa produk gas dari gasifikasi tempurung kelapa menghasilkan nyala api yang stabil dimana semakin kecil perbandingan udara bahan bakar (AFR) semakin besar komposisi *combustible gas* dan *LHV gas*. Selain itu, ukuran tempurung kelapa yang lebih kecil menghasilkan efisiensi gasifikasi yang lebih besar [8]. Penelitian lain menunjukkan juga bahwa variasi *equivalence ratio* pada proses gasifikasi limbah padat perkotaan menggunakan *single throat downdraft gasifier* berpengaruh pada komposisi gas, nilai kalor, dan efisiensi gas dingin dari sistem gasifikasi [9]. Serbuk kayu sebagai bahan baku pernah digunakan untuk mengetahui karakteristik gasifikasi dengan variasi *equivalence ratio* [10-11]. Penelitian lain pernah juga dilakukan oleh beberapa peneliti untuk mengetahui karakteristik gasifikasi dengan menggunakan bahan baku limbah padat kota, ampas tebu, dan bahan baku biomassa lain [12-14].

Berdasarkan uraian di atas, dapat diidentifikasi bahwa masih terbuka ruang untuk melakukan penelitian lanjut dengan parameter ukuran dan jenis biomassa khususnya kayu pada proses gasifikasi. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis bahan baku kayu (kayu sengon dan kayu mahoni) dan campurannya serta pengaruh ukuran bahan baku biomassa terhadap temperatur, karakteristik nyala api, dan jumlah residu padatan pada proses gasifikasi menggunakan *downdraft gasifier*.

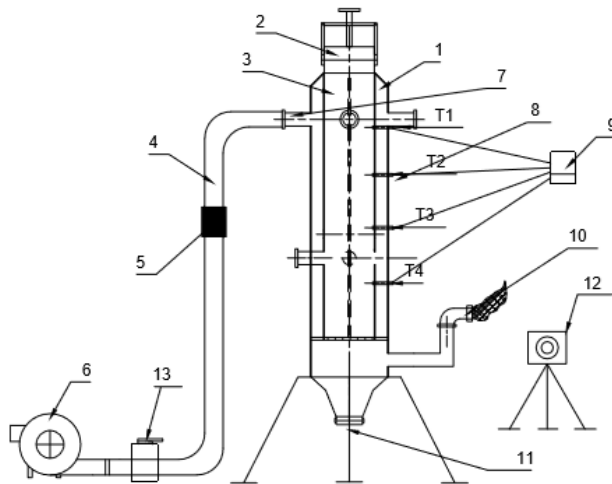
2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah kayu sengon dan kayu mahoni yang diperoleh dari sisa industri meubel di Kabupaten Sragen. Sebelum digunakan, bahan baku dikeringkan secara alami selama dua hari dan kemudian diolah menjadi bentuk serpihan dan balok. Bahan baku balok berukuran antara 5-10 cm³ sedangkan bahan baku serpihan berukuran lebih kecil yaitu 2-4 cm³. Kedua bahan baku kayu tersebut diuji *proximate* untuk mengetahui karakteristik bahan baku.

2.2 Peralatan Pengujian

Gambar 1 menunjukkan skema alat penelitian. Reaktor gasifikasi yang digunakan merupakan jenis *downdraft gasifier* dimana dalam *gasifier* terdapat empat titik/zona untuk mengetahui temperatur setiap zona gasifikasi yang terdiri dari zona 1 atau zona *drying* (T1), zona 2 atau zona antara *drying* dengan pirolisis (T2), zona 3 atau zona oksidasi (T3), dan zona 4 atau zona reduksi (T4). Temperatur tiap zona diukur menggunakan termokopel dan ditampilkan dengan bantuan *thermometer reader*. Udara yang masuk ke *gasifier* disuplai dengan menggunakan blower melalui sistem perpipaan yang dilengkapi dengan katup pengatur kecepatan aliran udara. Kecepatan aliran udara diukur menggunakan anemometer. Selain itu, peralatan juga dilengkapi dengan kamera untuk pengambilan gambar nyala api dari gas yang dihasilkan.



Keterangan:

1. Reaktor Gasifikasi Tipe *Downdraft*
2. Tutup Reaktor Bagian Atas
3. Tempat Bahan Baku
4. Saluran Udara
5. Anemometer
6. Blower
7. Saluran Udara Masuk
8. *Thermocouple*
9. *Thermometer Reader*
10. Katup Keluar Gas Produk
11. Tutup Reaktor Bagian Bawah
12. Kamera
13. Katup Pengatur Udara

Gambar 1. Skema Alat Penelitian

2.3 Prosedur Pengujian

Penelitian diawali dengan memasukkan sebanyak 2 kg bahan baku biomassa sebagai umpan dan dibakar untuk menyalakan api (*start up process*). Setelah api menyala selama lebih kurang 10 menit, sekitar 5-6 kg bahan baku biomassa dimasukkan ke dalam *gasifier* untuk tahap pertama gasifikasi. Kemudian blower dinyalakan dan kecepatan aliran udara diatur sebesar 3 m/s melalui katup. Penambahan bahan baku biomassa tahap selanjutnya dilakukan setiap 30 menit untuk memastikan proses gasifikasi tetap berlangsung. Total jumlah bahan baku pada penelitian ini dibatasi hingga 10 kg. Selama proses berlangsung, perubahan temperatur tiap zona dicatat setiap 10 menit sampai waktu pengujian berakhir yaitu 90 menit.

Pada penelitian ini, karakteristik nyala api yaitu durasi dan gambar nyala api diamati pada pipa keluar produk gas, masing-masing dengan bantuan *stop watch* dan kamera. Setelah proses gasifikasi selesai, sisa/residu bahan bakar diambil dan ditimbang. Proses tersebut dilakukan pada setiap variasi dalam penelitian ini yaitu jenis dan ukuran biomassa. Jenis biomassa yang digunakan adalah kayu sengon, kayu mahoni, dan campuran kedua kayu tersebut. Masing-masing biomassa berbentuk serpih dengan ukuran 2-4 cm³ dan berbentuk balok dengan ukuran 5-10 cm³.

2.4 Uji *Proximate* Bahan Baku

Uji *proximate* bahan baku dilakukan untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar zat terbang (*volatile matter*), dan karbon terikat (*fixed carbon*) yang terkandung dalam bahan baku. Pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

a. Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan dengan menimbang sampel uji sebanyak 1 g dalam cawan yang telah diketahui massa tetapnya. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam oven pada suhu 104°C-110°C selama 1 jam sampai massanya konstan. Kemudian sampel didinginkan dalam desikator selama 5 menit dan ditimbang kembali untuk mengetahui massa akhir sampel. Kadar air dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini [15].

$$\% \text{ kadar air} = \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{massa awal}} \times 100 \% \quad (1)$$

b. Kadar Abu

Kadar abu ditentukan dengan cara menimbang 1 g sampel dan dimasukkan ke dalam oven hingga suhu 550°C selama 4 jam. Kemudian didinginkan dan ditimbang ulang untuk mengetahui massa akhir sampel. Kadar abu dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini [16].

$$\% \text{ kadar abu} = \frac{\text{massa akhir}}{\text{massa akhir setelah pengujian kadar air}} \times 100 \% \quad (2)$$

c. Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Kadar zat terbang ditentukan dengan cara menimbang 1 g sampel dan dimasukan ke dalam oven hingga mencapai suhu 950°C selama 10 menit. Setelah itu sampel didinginkan dan berat sampel ditimbang ulang. Kadar zat terbang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini [17].

$$\% \text{ volatile matter} = \left(\frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{massa awal}} \times 100\% \right) - \% \text{ kadar air} \quad (3)$$

d. Karbon Terikat (*Fixed Carbon*)

Kadar karbon dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\% \text{ fixed carbon} = 100 \% - (\% \text{ kadar air} + \% \text{ kadar abu} + \% \text{ volatile matter}) \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Biomassa

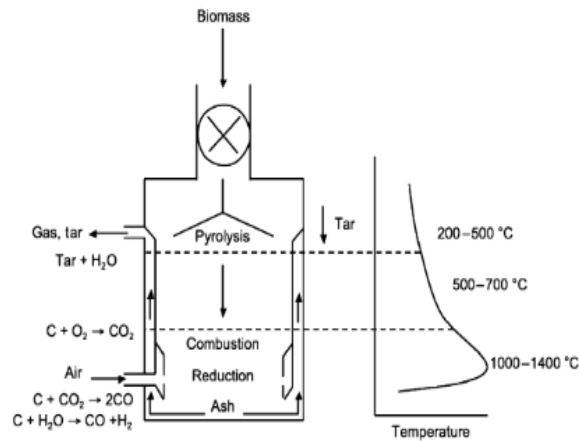
Uji *proximate* merupakan pengujian untuk mengetahui komposisi biomassa berupa kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Dari hasil pengujian yang dilakukan, secara umum karakteristik kayu sengon berbeda dengan kayu mahoni. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kayu sengon memiliki kandungan air sebesar 9,97 % sedangkan kayu mahoni sebesar 11,8 %. Umumnya, kadar air biomassa berpengaruh langsung terhadap nilai kalor dan densitas biomassa dimana kadar air yang tinggi akan menurunkan nilai kalor [18]. Data menunjukkan pula bahwa kadar abu kayu sengon lebih tinggi dibandingkan dengan kayu mahoni, masing-masing sebesar 1,45 % dan 1,12 %. Demikian pula kombinasi nilai kadar *volatile matter* dengan kadar *fixed carbon* pada kayu sengon sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kayu mahoni yaitu masing-masing sebesar 88,58 % dan 87,08 %. Biomassa dengan kandungan *volatile matter* yang tinggi berpotensi menghasilkan produk gas yang tinggi pada proses gasifikasi sedangkan kadar karbon terikat menentukan kualitas bahan bakar ditinjau dari parameter nilai kalor bahan bakar.

Data uji *proximate* sebagaimana diuraikan di atas menunjukkan bahwa kedua jenis kayu yang digunakan pada penelitian ini memiliki potensi yang cukup menjanjikan untuk dikonversi menjadi bentuk bahan bakar lain khususnya gas karena memiliki kandungan *volatile matter* yang tinggi. Pada penelitian ini, proses konversi biomassa menjadi gas dilakukan dengan menggunakan reaktor tipe *downdraft gasifier* karena teknologinya sederhana, mudah dioperasikan, dan kualitas gas yang dihasilkan lebih baik.

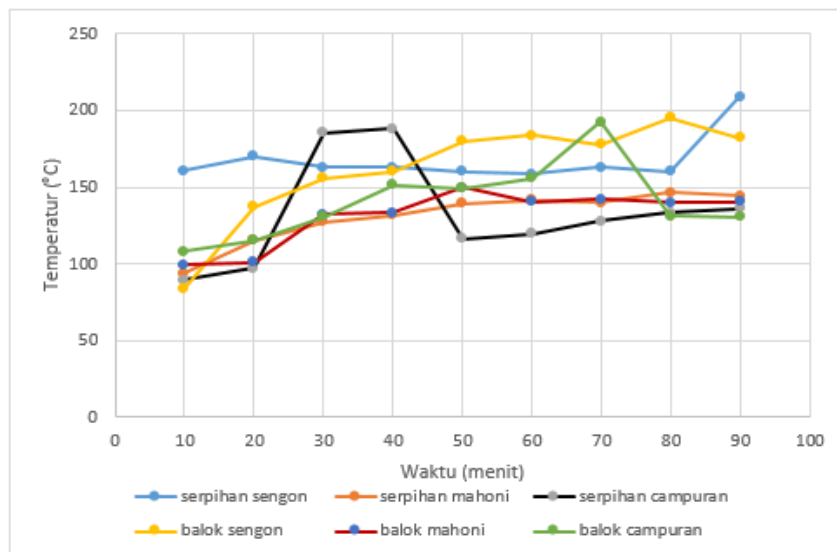
3.2 Perubahan Temperatur setiap Zona Gasifikasi

Secara umum, proses gasifikasi memiliki empat zona proses dalam menghasilkan produk gas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Zona proses gasifikasi tersebut terdiri dari zona pengeringan atau *drying zone* (zona 1), zona pirolisis (zona 2), zona oksidasi (zona 3), dan zona reduksi (zona 4). Setiap zona gasifikasi tersebut memiliki temperatur proses yang berbeda. Temperatur merupakan parameter penting dalam proses gasifikasi biomassa secara keseluruhan karena mempengaruhi reaksi-reaksi kimia untuk mengkonversi biomassa menjadi gas [13].

Gambar 3-6 berikut adalah grafik perubahan temperatur setiap zona selama berlangsungnya proses gasifikasi biomassa menggunakan kayu sengon, kayu mahoni, dan campurannya dengan variasi ukuran biomassa serpih dan balok. Gambar 3 merupakan grafik perubahan temperatur pada zona 1 yang merupakan zona *drying*. Temperatur yang terukur selama proses gasifikasi berada pada rentang 80°C hingga 209°C. Hal ini mengindikasikan bahwa pada zona 1 terjadi proses penguapan kandungan air pada biomassa. Temperatur pada zona ini relatif stabil dikarenakan biomassa tidak mengalami penguraian unsur-unsur kimia dan hanya terjadi pelepasan kandungan air [19]. Pada zona 1, temperatur tertinggi dihasilkan pada proses gasifikasi biomassa menggunakan serpihan sengon. Hal ini karena selain kandungan air yang lebih rendah, densitas kayu sengon juga lebih rendah dengan porositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu mahoni. Penyebab lain adalah ukuran kayu yang lebih kecil dan tipis. Karakteristik tersebut memungkinkan proses penguapan air lebih mudah dan cepat. Secara umum, rata-rata temperatur gasifikasi kayu sengon pada zona pengeringan lebih tinggi dibandingkan dengan kayu mahoni maupun campuran kedua jenis kayu. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian lain yang menggunakan bahan baku limbah kayu dimana diperoleh temperatur pada zona *drying* sebesar 75°C hingga 150°C [10], rata-rata temperatur yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi baik yang menggunakan bahan baku kayu sengon, kayu mahoni maupun campuran kedua kayu tersebut. Hal ini dimungkinkan terjadi karena selain sifat dan ukuran bahan baku yang digunakan berbeda, posisi pengukuran suhu dan kapasitas reaktor juga berbeda.



Gambar 2. Proses dan Pembagian Zona pada *Downdraft Gasifier*



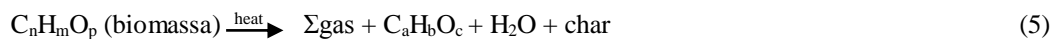
Gambar 3. Perubahan Temperatur pada Zona 1

Gambar 4 menunjukkan perubahan temperatur gasifikasi pada zona 2. Pada penelitian ini, zona 2 merupakan zona antara zona pengeringan dengan zona pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur gasifikasi pada zona 2 berada pada rentang 100°C hingga 252°C. Sebagaimana kondisi zona 1, pada zona 2, jenis biomassa dari serpihan sengon juga menghasilkan temperatur tertinggi. Pada zona ini terjadi peningkatan temperatur sehingga biomassa kayu yang sudah bebas dari kandungan air mengalami pemanasan lanjut yang kemudian mulai terdekomposisi menjadi tar, gas, dan produk lainnya. Dalam zona pirolisis, laju pemanasan akan cenderung meningkat secara bertahap sesuai dengan pertambahan temperatur, dimana pada temperatur di atas 200°C akan menyebabkan terjadinya proses pelepasan gas dalam biomassa [20]. Secara umum, produk pirolisis terdiri dari tiga jenis yaitu gas (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar, dan arang [21].

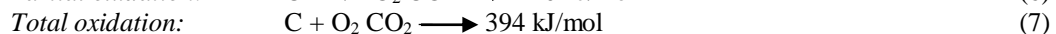
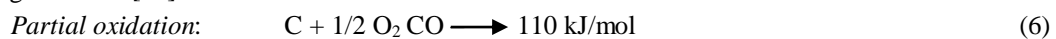


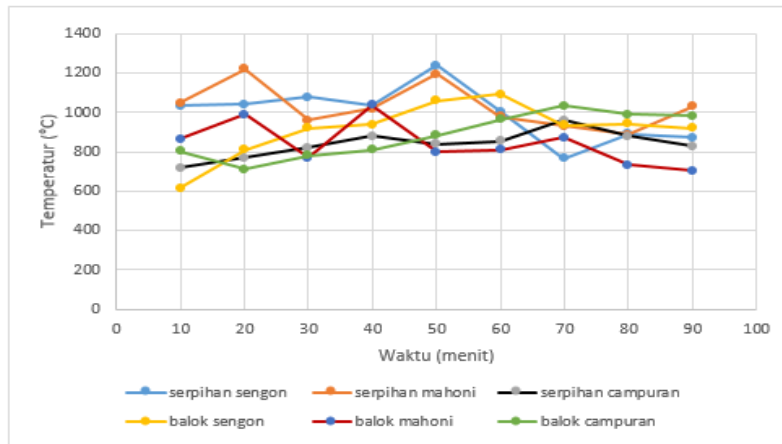
Gambar 4. Perubahan Temperatur pada Zona 2

Hasil penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 4 juga menunjukkan bahwa gasifikasi balok biomassa menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan serpihan biomassa. Hal ini terjadi karena penggunaan bahan baku balok biomassa cenderung membentuk rongga udara yang lebih banyak sehingga memudahkan sirkulasi udara panas di dalam reaktor. Ukuran biomassa akan mempengaruhi proses pirolisis, dimana ukuran biomassa yang lebih besar mengakibatkan proses pirolisis dikendalikan oleh difusi gas sehingga produksi gas di dalam biomassa akan sulit untuk di dorong keluar [10]. Temperatur yang tinggi diharapkan dapat mempercepat pelepasan kandungan volatil biomassa. Dalam zona pirolisis, umumnya terjadi reaksi sebagai berikut:



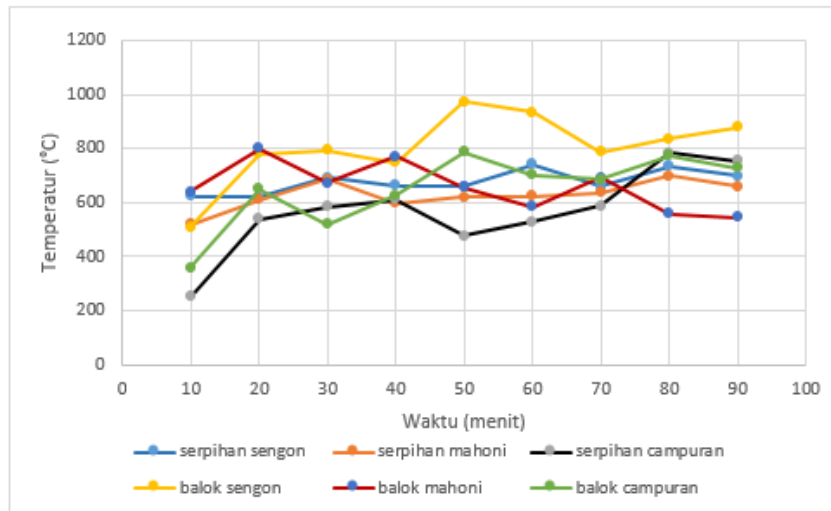
Gambar 5 menunjukkan perubahan temperatur gasifikasi pada zona 3 yang merupakan zona oksidasi dengan rentang temperatur antara 616°C hingga 1239°C. Pada penelitian ini, temperatur tersebut merupakan temperatur tertinggi yang diperoleh selama proses gasifikasi biomassa. Data menunjukkan bahwa temperatur tertinggi zona oksidasi pada proses gasifikasi kayu sengon mencapai 1239°C, sedangkan untuk kayu mahoni sebesar 1220°C dan untuk campuran kedua jenis kayu hanya mencapai 1033°C. Tingginya temperatur zona oksidasi pada penggunaan kayu sengon selain disebabkan oleh densitas yang relatif lebih rendah dibanding kayu mahoni, juga disebabkan oleh faktor porositas yang tinggi. Hal ini berpengaruh pada proses pembakaran biomassa dimana bahan baku biomassa yang lebih padat dengan porositas yang rendah cenderung sulit dibakar. Proses oksidasi yang terjadi pada zona ini sangat penting karena menghasilkan energi kalor yang dibutuhkan untuk menjamin berlangsungnya keseluruhan reaksi yang terjadi selama proses gasifikasi [22]. Proses ini dipengaruhi juga oleh suplai dan distribusi udara yang masuk ke dalam *gasifier*. Udara yang masuk digunakan untuk terjadinya reaksi pada proses gasifikasi. Semakin tinggi laju udara, semakin cepat proses terjadinya pembakaran, yang mana akan mempengaruhi distribusi temperatur dalam reaktor atau *gasifier* [11]. Secara umum, fenomena kecenderungan terjadinya fluktuasi temperatur pada zona oksidasi disebabkan oleh akumulasi O₂ ketika proses pengisian biomassa ke dalam reaktor [20]. Pada zona ini, reaksi kimia yang terjadi berupa oksidasi partial dan oksidasi total sebagai berikut [23]:





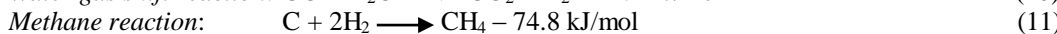
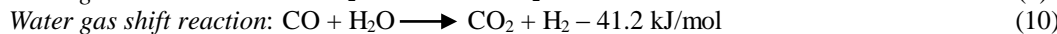
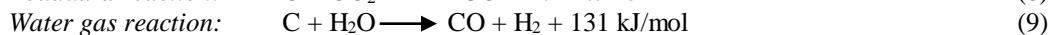
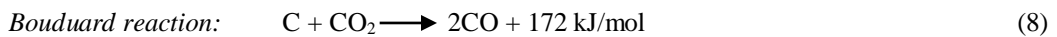
Gambar 5. Perubahan Temperatur pada Zona 3

Gambar 6 menunjukkan perubahan temperatur gasifikasi pada zona 4 yang merupakan zona reduksi dengan temperatur berkisar antara 252°C hingga 974°C. Zona reduksi merupakan zona dimana terjadi reaksi utama gasifikasi karbon atau arang menjadi produk gas. Reaksi yang terjadi pada zona ini dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan.



Gambar 6. Perubahan Temperatur pada Zona 4

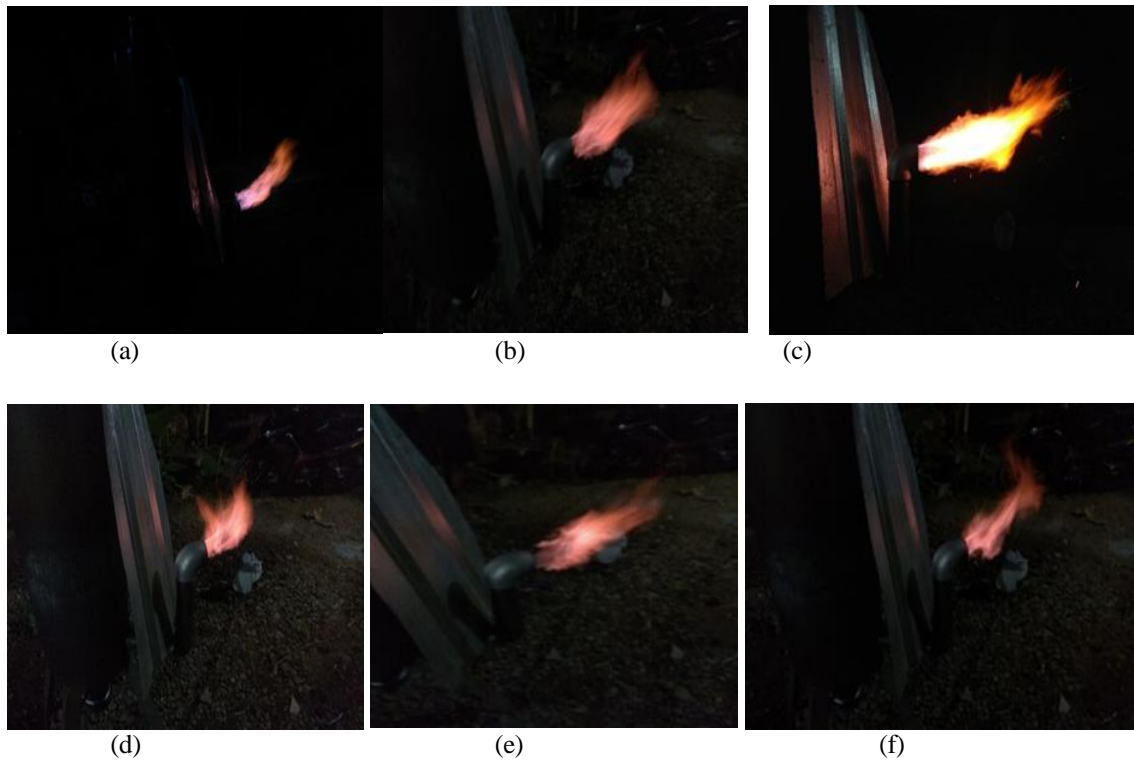
Pada zona reduksi, biomassa dalam bentuk balok cenderung menghasilkan suhu yang lebih tinggi karena produk arang yang dihasilkan dari proses pirolisis dan oksidasi pada zona 2 dan 3 cukup tinggi dibandingkan dengan biomassa dalam bentuk serpih. Sehingga ukuran biomassa kayu akan mempengaruhi intensitas reaksi reduksi, meskipun tidak mempengaruhi mekanisme proses reaksi. Reaksi yang terjadi dalam zona ini yaitu:



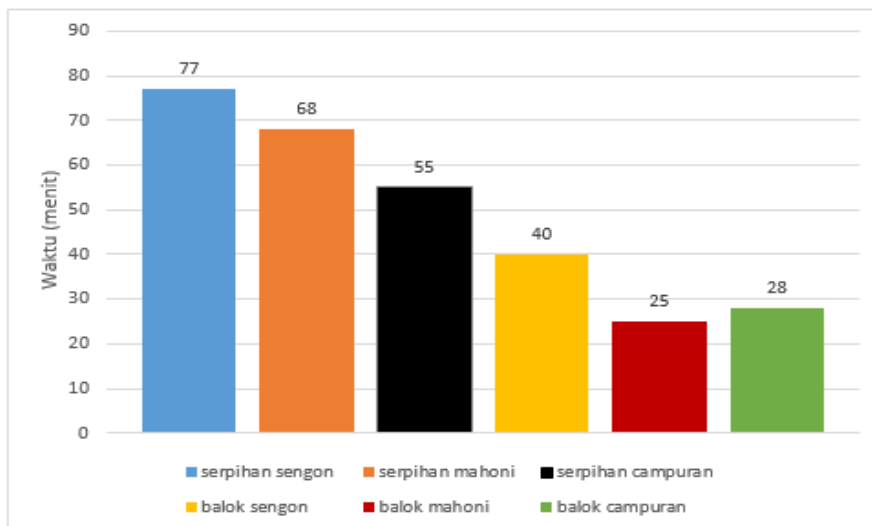
3.3 Analisis Nyala Api

Api dari produk gas yang dibakar merupakan salah satu indikator proses gasifikasi. Komposisi gas yang dihasilkan dipengaruhi oleh karakteristik biomassa yang digunakan dan jumlah udara yang dimasukkan. Gambar 7 merupakan foto nyala api dari pembakaran gas yang dihasilkan selama proses gasifikasi biomassa. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nyala api dari gasifikasi serpihan sengon berwarna merah kebiruan sedangkan serpihan mahoni berwarna merah dan campuran serpihan kedua kayu berwarna merah kekuningan. Selain itu, pada proses gasifikasi biomassa menggunakan kayu balok terlihat bahwa untuk

gasifikasi balok sengon menghasilkan nyala api bewarna merah dan apinya lebih pendek sedangkan balok mahoni bewarna merah dan sedikit berasap, dan campuran kedua balok kayu memiliki nyala api bewarna merah, berasap dan api tidak stabil atau tidak dapat menyala secara kontinyu. Kondisi nyala api tersebut mengindikasikan perbedaan kualitas dan kuantitas gas yang dihasilkan dari berbagai variasi proses gasifikasi yang dilakukan pada penelitian ini. Api yang berwarna biru menandakan kandungan *flammable gas* yang tinggi sehingga memungkinkan pembakaran gas terjadi pada kondisi stokiometri. [24].



Gambar 7. Foto Nyala Api (a) Serpihan Sengon, (b) Serpihan Mahoni, (c) Campuran Serpihan Sengon dengan Mahoni, (d) Balok Sengon, (e) Balok Mahoni, (f) Campuran Balok Sengon dengan Mahoni.



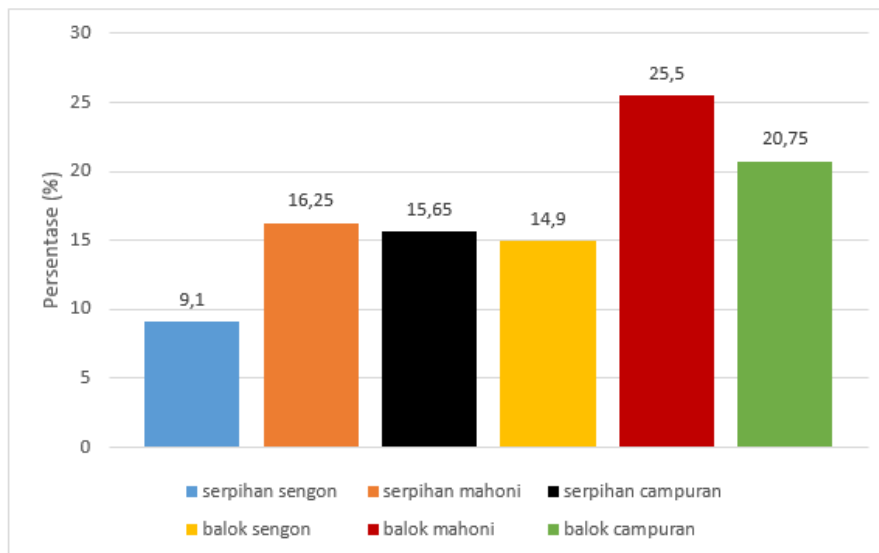
Gambar 8. Durasi Nyala Api pada Proses Gasifikasi Biomassa menggunakan *Downdraft Gasifier*

Gambar 8 menunjukkan durasi/lamanya api menyala secara kontinyu pada masing-masing variasi proses gasifikasi yang dilakukan. Dari gambar terlihat bahwa kayu sengon dengan ukuran biomassa serpihan menghasilkan durasi nyala api kontinyu yang paling lama yaitu sekitar 77 menit. Sedangkan durasi nyala api untuk serpihan mahoni adalah 68 menit dan campuran serpihan kedua kayu hanya sekitar 55 menit. Untuk variasi kayu balok, sengon juga memiliki durasi nyala api kontinyu yang lebih lama yaitu 40

menit, sedangkan balok mahoni menghasilkan durasi nyala api 25 menit, dan campuran kedua kayu balok hanya sekitar 28 menit. Durasi nyala api dipengaruhi oleh debit udara yang masuk ke dalam *gasifier*, dimana semakin banyak udara yang masuk maka semakin banyak udara yang bereaksi dengan biomassa pada proses pembakaran [24]. Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya jumlah produk *flammable gas*. Selain itu, jenis dan ukuran biomassa juga sangat mempengaruhi durasi nyala api. Hal ini terjadi karena ukuran biomassa yang lebih kecil memungkinkan terjadinya laju pemanasan biomassa yang tinggi sehingga proses dekomposisi biomassa menjadi lebih cepat. Kondisi ini sangat diharapkan karena dapat menghasilkan produk *flammable gas* yang lebih banyak.

3.4 Analisis Residu

Residu merupakan sisa padatan dari hasil proses gasifikasi biomassa. Residu dipengaruhi oleh pembakaran yang terjadi dalam proses gasifikasi. Dalam penelitian ini, persentase residu serpihan sengon didapatkan sebesar 9,1% yang mana merupakan perolehan terendah dari semua variasi percobaan yang dilakukan. Sedangkan residu padatan tertinggi didapatkan pada proses gasifikasi menggunakan balok kayu mahoni yaitu sebesar 25,5 %. Tingginya jumlah residu padatan pada gasifikasi balok mahoni disebabkan karena debit udara yang disuplai ke dalam reaktor belum cukup untuk mengkonversi biomassa menjadi gas. Sehingga untuk ukuran biomassa yang lebih besar diperlukan suplai udara yang lebih tinggi agar proses gasifikasi dapat berlangsung dengan baik. Zona pirolisis merupakan zona utama proses pembentukan arang/padatan. Kemudian, sebagian arang tersebut akan terbakar pada zona oksidasi dan sebagian lagi akan tergasifikasi menjadi gas pada zona reduksi sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (8)-(11). Sisa arang yang tidak terbakar dan tidak tergasifikasi akan terakumulasi pada bagian bawah reaktor.



Gambar 9. Persentase Residu pada Proses Gasifikasi Biomassa menggunakan *Downdraft Gasifier*

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses gasifikasi biomassa menggunakan *downdraft gasifier* sangat dipengaruhi oleh jenis dan ukuran biomassa. Berdasarkan kondisi pengujian yang digunakan pada penelitian ini, proses gasifikasi menggunakan bahan baku kayu sengon menghasilkan produk gas yang lebih baik dibandingkan dengan bahan baku kayu mahoni dan campuran kedua jenis kayu tersebut. Demikian pula biomassa dalam bentuk serpih menghasilkan produk gas yang lebih baik dibandingkan dengan biomassa dalam bentuk balok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses gasifikasi terbaik diperoleh pada penggunaan bahan baku serpihan sengon dimana produk gas yang dihasilkan berwarna biru-kemerahan dengan durasi nyala api selama 77 menit dan jumlah residu hanya 9,1%. Selain itu, bahan baku serpihan sengon menghasilkan temperatur gasifikasi tertinggi khususnya pada zona oksidasi yaitu sebesar 1239°C.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2017: “*Clean Energy Technology Development Initiatives*”. Jakarta: Center for Technology of Energy Resources and Chemical Industry, Agency for the Assessment and Application of Technology.

- [2] ALIMAH, D. http://www.tungkuindonesia.org/images/downloads/kayu_sebagai_sumber_energi.pdf. Diakses: Agustus 2018 (20.30).
- [3] ASTANA, S., A. HANI, W. ENDOM, H. S. NURONIAH, N. E. LELENA, dan D. R. KURNIASARI. “Kiat Berbisnis Sengon Tanam Sekali Untung Berkali-kali”. Cetakan Pertama. Bogor: Forda Press, 2016.
- [4] DINAS LINGKUNGAN HIDUP (DLH). “*Budidaya Mahoni*”. Banten: Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2017
- [5] PRANOLO, S. H., I. F. RATMANA. dan N. S. PRATAMA. “Kinerja Pembangkit Listrik Dual-Fuel Kapasitas 5 kW Berbasis Gasifikasi Sekam Padi Berunggun Tetap”. *Jurnal Ekuilibrium* 14(2):51-52. 2015.
- [6] ARHAMSYAH. “Pemanfaatan Biomasa Kayu Sengon sebagai Sumber Energi Terbarukan”. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan* 2(1):42-48. 2010.
- [7] ANTOLINI, D., S. S. AIL, F. PATUZZI, M. GRIGIANTE, M. BARATIERI. “Experimental investigations of air-CO₂ biomass gasification in reversed downdraft gasifier”. *Fuel* 253. 2019
- [8] NAJIB, L., dan S. DARSOPUSPITO. “Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa”. *Jurnal Teknik* 1(1). 2012.
- [9] KHOSASAENG, T., dan R. SUNTIVARAKORN. “Effect of Equivalence Ratio on an Efficiency of Single Throat Downdraft Gasifier using RDF from Municipal Solid Waste”. *Energy Procedia*. 138: 784-788. 2017.
- [10] SUDARMANTA, B., D. SUNGKONO, S. DARPUSPITO, KADARISMAN, dan ISBUNYAMIN. “Pengaruh Suhu Reaktor Gasifier dan Ukuran Partikel terhadap Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Limbah Kayu pada Reaktor Gasifier Type Downdraft”. *Makalah disajikan pada Seminar Teknologi Industri XV ITS*. Surabaya. 11 Juni 2012.
- [11] SULIONO, B. SUDARMANTA, F. DIONISIUS, dan I. MAOLANA. “Studi Karakteristik Reaktor Gasifikasi Type Downdraft Serbuk Kayu dengan Variasi Equivalence Ratio”. *Jurnal Teknologi Terapan* 3(2). 2017.
- [12] LUO, S., B. XIAO, Z. HU, S. LIU, Y. GUAN, dan L. CAI. “Influence of Particle Size on Pyrolysis and Gasification Performance of Municipal Solid Waste in a Fixed Bed Reactor”. *Bioresource Technology* 101:6517-6520. 2010.
- [13] ALMEIDA, A., P. NETO, I. PEREIRA, A. RIBEIRO, dan R. PILAO. “Effect of Temperature on the Gasification of Olive Bagasse Particles”. *Journal of Energy Institute* 92:153-160. 2017.
- [14] FISHER, E. M., C. DUPONT, L. I. DARVELL, A. SADDAWI, J. M. JONES, dan M. GRATEAU. “Combustion and Gasification Characteristics of Chars from Raw and Torrefied Biomassa”. *Bioresource Technology* 119:157-165. 2012.
- [15] ASTM. “*Standart Test Methods for Direct Moisture Content Measurmen of Wood and Wood-Base Materials*”. D-4442. 2003.
- [16] ASTM. “*Standard Test Method for Ash in Wood*”. D-1102. 2013.
- [17] ASTM. “*Standard Test Method of Volatile Matter in the Analysis of Particular Wood Fuels*”. E-872. 1998.
- [18] SAPUTRO, D. D., dan W. WIDAYAT. “Karakterisasi Limbah Pengolahan Kayu Sengon Sebagai Bahan Bakar Alternatif”. *Jurnal Sainteknol* 14(1):25. 2016.
- [19] SUDARMANTA B., dan KADARISMAN. “Pengaruh Suhu Reaktor dan Ukuran Partikel terhadap Karakteristik Gasifikasi Biomassa Tongkol Jagung pada Reaktor Downdraft”. *Makalah dalam Seminar Nasional Pascasarjana*: 1-6. 2010.
- [20] QIRAM, I., D. WIDHIYANURIYAWAN, W. WIJAYANTI. “Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Kuantitas Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (*Switenia Macrophylla*) pada Rotary Kiln”. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(1):39-44. 2015
- [21] HADI, S., dan S. DASOPUSPITO. “Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar terhadap Kualitas Api pada Gasifikasi Reaktor Downdraft dengan Suplai Biomass Serabut Kelapa secara Kontinyu”. *Jurnal Teknik PomITS* 2(3):2337-3539. 2013.
- [22] SUDARMANTA, B., D. B. MUTARDJI, D. F. WULANDARI. “Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Sekam Padi Menggunakan Reaktor Downdraft dengan Dua Tingkat Luluhan Udara”. *Makalah dalam Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)* 8. Semarang. 2009.
- [23] SUSASTRIAWAN, A. A. P., H. SAPTOADI, dan PURNOMO. “Small-Scale Downdraft Gasifier for Biomass Gasification: A Review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76:989-1003. 2017.
- [24] KALIM, N. “Pengaruh Udara pada Gasifier terhadap Temperatur dan Lama Nyala Api Syn-Gas pada Gasifikasi Batok Kelapa”. *Jurnal Teknik Mesin* 01(01). 493-49. 2015.