

Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket Arang Daun Jati (*Tectona Grandis* L.F)

Sarjono^{a*}, Agus Widiyanto^a

^aJurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu

*Penulis Korenspondensi, mbahjon1961@yahoo.co.id

Diterima : 18 Pebruari 2021 – Direview : 6 Juli 2021 – Diterbitkan : 12 Juli 2021

Intisari

Daun jati merupakan salah satu jenis biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternative. Tujuan penelitian ini adalah menguji karakteristik pembakaran biobriket dengan variasi kecepatan aliran udara: 0,4 m/s, 0,7 m/s dan 1,0 m/s. Pengujian briket yang dilakukan meliputi: pengujian laju perubahan temperatur, pengurangan massa dan laju pembakaran arang briket daunjati. Pengujian menggunakan temperatur tungku pembakaran 400°C, kemudian dengan variasi kecepatan udara 0,4 m/s; 0,7 m/s; 1,0 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: briket dengan kecepatan aliran udara 1,0 m/s mempunyai laju pembakaran tertinggi yaitu sebesar 0,0547 gram/detik. Aliran massa udara yang dapat memenuhi kebutuhan udara kering tersebut adalah aliran udara 1,0 m/s. Laju temperatur pembakaran mengalami puncak yaitu sebesar 442,1 °C pada aliran udara 1,0 m/s. Penurunan massa akan semakin cepat juga jika kecepatan aliran udara dinaikkan. Semakin besar kecepatan aliran udara, maka pengurangan massa briket akan semakin cepat. Jika temperatur udara yang dialirkan ke ruang bakar semakin tinggi maka akan menyebabkan pengurangan massa semakin cepat pula.

Kata Kunci : Daun Jati; Briket; Kecepatan Aliran Udara; Karakteristik Pembakaran.

Abstract

Teak leaf is one type of biomass that can be used as an alternative fuel. The purpose of this study was to examine the combustion characteristics of biobriquettes with variations in air flow velocity: 0.4 m/s, 0.7 m/s and 1.0 m/s. The briquette tests carried out included: testing the rate of temperature change, reducing mass and burning rate of teak leaf briquette charcoal. The test uses a combustion furnace temperature of 400°C, then with variations in air velocity of 0.4 m/s; 0.7 m/s; 1.0 m/s. The results showed that: briquettes with an air flow velocity of 1.0 m/s had the highest combustion rate of 0.0547 grams/second. The mass flow of air that can meet the dry air demand is 1.0 m/s. The rate of combustion temperature peaked at 442.1 °C at 1.0 m/s air flow. The decrease in mass will also be faster if the air flow velocity is increased. The greater the air flow velocity, the faster the reduction in briquette mass will be. If the temperature of the air flowing into the combustion chamber is higher, it will cause a faster mass reduction.

Keywords : Teak leaf; Briquette, Air velocity, Combustion characteristics.

1. Pendahuluan

Secara umum produksi minyak bumi terus mengalami penurunan. Penurunan produksi tersebut disebabkan tidak ditemukannya lagi cadangan minyak bumi yang potensial, sehingga sebagian besar produksi pada saat ini hanya berasal dari sumur-sumur tua yang telah mengalami penurunan produksi (BPPT, 2009:4-1).

Subroto (2006), meneliti karakteristik pembakaran briket campuran batubara, ampas tebu dan jerami dengan bahan perekat tepung pati. Komposisi yang di uji adalah biobriket dengan perbandingan prosentase batubara: biomassa (ampas tebu dan jerami) 10%:90%; 33,3%:66,6%; 50%:50%, briket dibuat dengan metode cetak tekan pada tekanan 100 kg/cm². Pengujian pembakaran dilakukan untuk mengetahui besarnya laju pengurangan massa dengan laju kecepatan udara konstan (0,3 m/s), kemudian dilanjutkan dengan pengujian emisi polutan. Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah di uji, penambahan biomassa menyebabkan naiknya *volatile matter* sehingga lebih cepat

terbakar dan laju pembakaran lebih cepat. Penambahan biomassa juga dapat menurunkan emisi polutan yang dihasilkan pada saat pembakaran. Komposisi biobriket terbaik yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari adalah komposisi batubara dan biomassa 10%:90%, karena suhu yang dicapai lebih optimal maka lebih cepat terbakar, dan lebih ramah lingkungan.

Sulistiyanto (2006), telah menguji karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dengan sabut kelapa dengan perbandingan batubara dan biomassa: 10%:90%; 20%:80%; 30%:70% dengan kecepatan udara konstan. Briket dibuat dengan metode *Piston Press* pada tekanan kompaksi sebesar 100 kg/cm² dan bahan perekatnya adalah pati. Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah di uji, penambahan biomassa menyebabkan naiknya *volatile matter* sehingga lebih cepat terbakar dan laju pembakaran lebih cepat. Penambahan biomassa juga dapat menurunkan emisi polutan yang dihasilkan pada saat pembakaran. Komposisi biobriket terbaik yang dapat digunakan adalah komposisi batubara dan biomassa:

10%:90%, karena lebih cepat terbakar dan lebih ramah lingkungan.

Wahyudi (2007), telah melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran biobriket campuran batubara dan limbah pertanian (ampas tebu, serbuk kayu dan sekam padi), tujuannya untuk mengetahui pengaruh komposisi campuran bahan bakar, laju aliran udara, temperatur udara *preheat* dan tekanan pembriketan terhadap laju pembakarannya. Pengujian pengaruh kecepatan aliran udara terhadap laju pembakaran dilakukan dengan variasi kecepatan $v:0 \text{ m/s}$; $v:0,3 \text{ m/s}$; $v:0,6 \text{ m/s}$; $v:0,9 \text{ m/s}$; dan $v:1,2 \text{ m/s}$. Variasi temperatur terhadap laju pembakaran adalah: $24 - 32 \text{ }^\circ\text{C}$; $51 - 104 \text{ }^\circ\text{C}$; dan $81 - 136 \text{ }^\circ\text{C}$. Variasi tekanan yang digunakan adalah: $2038,2 \text{ kg/m}^2$; $7133,76 \text{ kg/m}^2$; dan $20382,16 \text{ kg/m}^2$. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa briket yang mengandung campuran biomassa lebih banyak akan lebih mudah menyala dan waktu pembakaran lebih cepat. Pada penelitian pengaruh laju aliran udara, semakin besar laju aliran udara, pengurangan massa akan semakin cepat. Jika temperatur udara yang dialirkan ke ruang bakar semakin tinggi akan menyebabkan pengurangan massa semakin cepat. Tekanan pembriketan yang rendah menyebabkan bahan bakar tersebut *burning time* lebih pendek.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, maka dilakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Tekanan Pengepresan Terhadap Karakteristik Briket Arang Daun Jati dengan variasi tekanan cetakan 350 psi; 600 psi; 850 psi; 1100 psi; dan 1350 psi.

2. Kerangka Teori

Biomassa dapat diolah menjadi bioarang, ini merupakan bahan bakar dengan nilai kalor yang cukup tinggi. Sumber energi biomassa mempunyai keuntungan (Syafii, 2003) sebagai berikut:

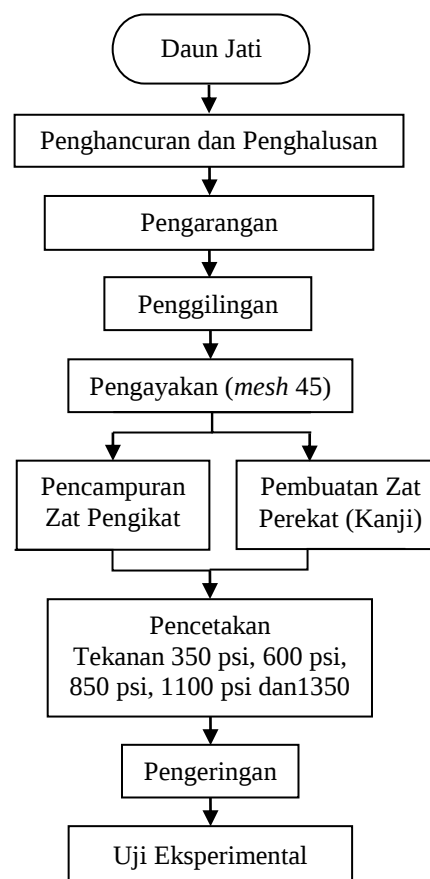
1. Sumber energi ini sifatnya *renewable resources*;
2. Sumber energi ini relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara sebagaimana yang terjadi pada bahan bakar fosil;
3. Pemanfaatan energi biomassa meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah pertanian.

2.1 Teknologi Pembriketan

Tujuan pembriketan adalah untuk meningkatkan kualitas biomassa sebagai bahan bakar alternative. Secara umum tahapan dalam proses pembriketan adalah:

1. Penggilingan briket menjadi butiran tepung dengan ukuran tertentu, misalnya mesh 50.
2. Pencampuran briket dengan binder untuk mendapatkan campuran yang homogen.
3. Pencetakan briket dengan bentuk silindris sesuai dengan cetakan yang tersedia.
4. Pengeringan briket pada untuk menurunkan kandungan air briket.
5. Pengemasan briket sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Adapun tahapan dalam proses pembuatan briket arang limbah daun jati adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Briket

2.2 Zat Pengikat

Bahan pengikat digunakan untuk mengikat partikel-partikel bahan baku dalam pembuatan briket. Pemilihan bahan pengikat ada dua macam yaitu:

1. Berdasarkan sifat bahan perekat.
Adapun karakteristik bahan perekat untuk pembuatan briket adalah sebagai berikut:
 - a. Memiliki gaya *kohesi* yang baik bila dicampur dengan semikokas atau batu bara.
 - b. Mudah terbakar dan tidak berasap.
 - c. Mudah didapat dalam jumlah banyak dan murah harganya.
 - d. Tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya.
2. Berdasarkan jenis bahan perekat.
Jenis bahan perekat yang dipakai sebagai pengikat dalam pembuatan briket adalah:
 - a. Pengikat anorganik.
Pengikat anorganik dapat menjaga ketahanan briket selama proses pembakaran sehingga permeabilitas bahan bakar tidak terganggu. Pengikat anorganik mempunyai kelemahan yaitu adanya tambahan abu sehingga dapat menghambat proses pembakaran dan menurunkan nilai kalor. Contoh dari pengikat anorganik antara lain: semen, lempung, natrium silikat.
 - b. Pengikat organik.
Pengikat organik merupakan bahan perekat yang efektif, karena menghasilkan abu yang relatif sedikit.

Contoh pengikat organik adalah kanji, tar, aspal, amilum, molase dan parafin.

Perekat tepung tapioka dalam bentuk cair sebagai bahan perekat menghasilkan *fiberboard* bernilai rendah dalam hal kerapatan, keteguhan tekan, kadar abu, dan zat mudah menguap, tapi akan lebih tinggi dalam hal kadar air, karbon terikat dan nilai kalornya apabila dibandingkan dengan yang menggunakan perekat molase.

Penggunaan tepung tapioka sebagai bahan perekat pada penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan briket yang berkualitas tidak berasap dan tahan lama.

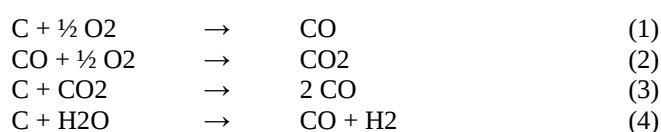
2.3 Proses Pembakaran Bahan Bakar Padat

Proses pembakaran bahan bakar padat terdiri atas beberapa tahap seperti pemanasan, pengeringan, devolatilisasi dan pembakaran arang. Selama proses devolatilisasi, kandungan volatil akan ke luar dalam bentuk gas seperti: CO, CO₂, CH₄ dan H₂.

Menurut Pengmei, dkk. (2004), komposisi gas selama devolatilisasi tergantung pada jenis bahan yang dibakar. Proses devolatilisasi diikuti dengan oksidasi bahan bakar padat yang lajunya tergantung pada konsentrasi oksigen, suhu gas, ukuran dan porositas arang (Syamsiro dan Saptoadi, 2007).

Kenaikan konsentrasi oksigen dalam gas menimbulkan laju pembakaran. Suhu pembakaran yang tinggi dapat mempercepat laju reaksi dan menyebabkan waktu pembakaran menjadi lebih singkat. Demikian pula dengan kecepatan gas yang tinggi pada permukaan dapat meningkatkan laju pembakaran bahan bakar padat, terutama disebabkan oleh laju perpindahan massa oksigen ke permukaan partikel yang lebih tinggi.

Arang karbon yang bereaksi dengan oksigen pada permukaan partikel membentuk karbon monoksida dan karbon dioksida, yang reaksinya adalah sebagai berikut:



Menurut Himawanto (2005), Tahapan dalam proses pembakaran bahan bakar padat adalah sebagai berikut:

1. Pengeringan (*drying*)
Bahan bakar mengalami proses kenaikan temperature, hal ini akan mengakibatkan menguapnya kadar air pada permukaan bahan bakar, sedangkan untuk kadar air yang berada di dalam akan menguap melalui pori-pori bahan bakar padat.
2. Devolatilisasi (*devolatilization*)
Devolatilisasi adalah proses bahan bakar mulai mengalami dekomposisi setelah terjadi pengeringan.
3. Pembakaran arang (*char combustion*)
Sisa pirolisis adalah arang (*fixed carbon*) dan sedikit abu, partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi yang memerlukan 70% - 80% dari total waktu pembakaran.

Syamsiro dan Saptoadi (2007) dalam penelitiannya tentang biobriket diperoleh faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik pembakaran biobriket, adalah:

1. Laju pembakaran biobriket semakin tinggi dengan meningkatnya kandungan senyawa *volatile matter*. Laju pembakaran dapat didekati dengan persamaan (Levenspiel, 1972):

$$-(rA) = -\frac{dmA}{2dt} = kMA^n \quad (5)$$

dengan k adalah konstanta laju pembakaran, n pangkat reaksi dan mA berat briket.

2. Biobriket dengan nilai kalor yang tinggi menyebabkan suhu pembakaran yang tinggi dan pencapaian suhu optimumnya cukup lama.
3. Semakin besar kerapatan (*density*) biobriket maka semakin lambat laju pembakarannya. Namun, semakin besar kerapatan biobriket menyebabkan semakin tinggi pula nilai kalornya.
Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat adalah (Sulistiyanto A, 2006):

1. Ukuran partikel
Ukuran partikel akan mempengaruhi proses pembakaran bahan bakar padat. Dengan ukuran partikel yang lebih kecil, maka bahan bakar padat akan lebih cepat terbakar.
2. Kecepatan aliran udara
Laju pembakaran biobriket akan meningkat seiring dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan temperatur.
3. Jenis bahan bakar
Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar antara lain: *volatile matter*, dan *moisture*. Semakin banyak kandungan *volatile matter* pada bahan bakar padat, maka akan semakin mudah bahan bakar padat tersebut untuk terbakar dan menyala.
4. Temperatur udara pembakaran
Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

2.4 Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses untuk meningkatkan nilai kalor biomassa dan hasil pembakaran yang bersih dengan sedikit asap. Hasil karbonisasi adalah arang yang tersusun atas karbon dan berwarna hitam. Proses karbonisasi merupakan bagian dari proses pirolisis, yaitu pembakaran biomassa pada kondisi tanpa oksigen. Tujuannya untuk melepaskan zat terbang (*volatile matter*) yang terkandung pada biomassa. Secara umum kandungan zat terbang dalam biomassa cukup tinggi.

Produk dari proses ini adalah arang (*char*). Temperatur karbonisasi akan berpengaruh terhadap arang yang dihasilkan sehingga pengaturan temperatur yang tepat akan menentukan kualitas arang. Sedikit banyaknya arang yang dihasilkan bergantung pada komposisi awal biomassa.

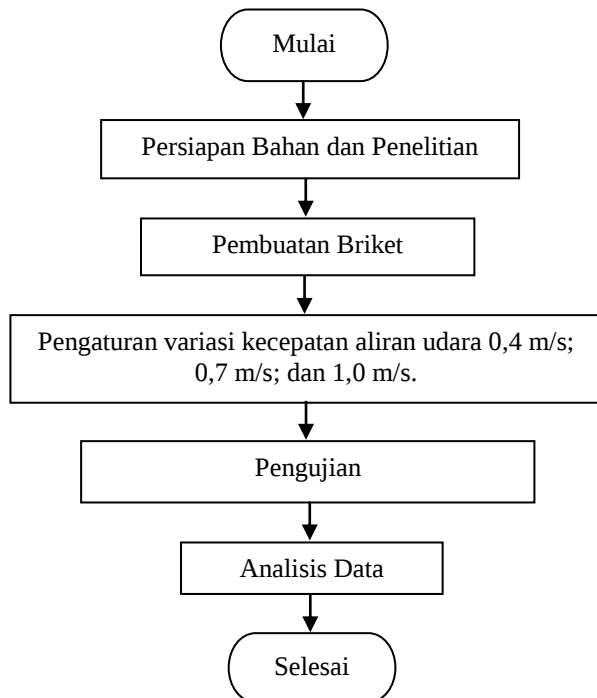
Banyaknya kandungan *volatile matter* mengakibatkan semakin sedikit arang yang dihasilkan, karena banyak bagian yang terlepas ke udara (Thoha dan Fajrin, 2010).

Sedangkan lamanya pengarangan ditentukan oleh jumlah atau volume bahan organik, ukuran parsial bahan, kerapatan bahan, tingkat kekeringan bahan, jumlah oksigen yang masuk dan asap yang ke luar dari pembakaran. Pada bagian bawah terlihat bahwa abu yang merupakan hasil akhir proses pembakaran tidak memiliki energi lagi. Sementara itu, arang masih memiliki jumlah energi karena belum

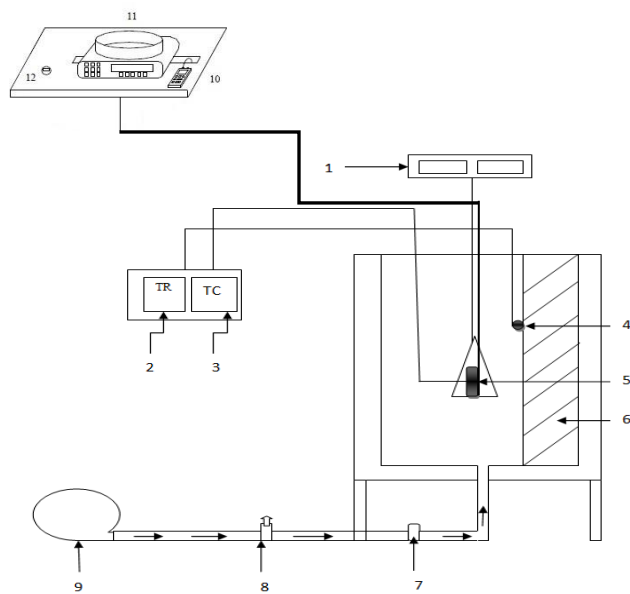
menjadi abu. Arang inilah yang akan menjadi briket (Saleh, 2013).

3. Metodologi

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Skema Alat Uji Karakteristik Pembakaran

Keterangan gambar:

1. Timbangan Hoist
2. Thermocouple Reader
3. Thermocouple Controller
4. Thermocouple Sensor
5. Sampel Bahan Bakar (Briket)

6. Furnace wall heater
7. Rotameter
8. Katup Pengatur Aliran Udara (Valve)
9. Blower
10. Digital Thermocouple Reader
11. Electronic Top Pan Balance
12. Stopwatch

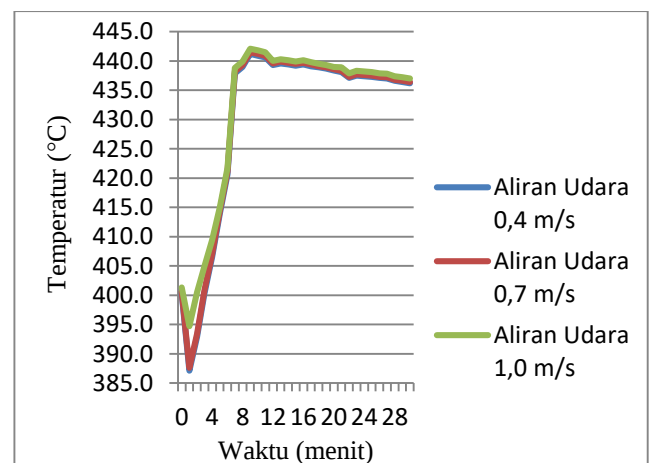
3.2 Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian adalah:

1. Menyiapkan limbah daun jati kering.
2. Melakukan pengarangan daun jati kering. Pada saat proses pengarangan dimulai, drum di letakkan di atas pasir agar udara tidak bisa masuk.
3. Saring serbuk arang daun jati kering dengan ayakan 45 mesh.
4. Serbuk arang daun jati kering siap dicampur dengan tepung kanji.
5. Menyiapkan peralatan untuk pengujian.
6. Menempatkan briket yang akan diuji pada tempat yang terhubung dengan timbangan digital.
7. Menimbang massa briket sebelum pembakaran berlangsung.
8. Menghidupkan termokopel dan sensor yang terletak pada briket dan tungku pemanas.
9. Hidupkan tungku pembakaran dan biarkan beberapa saat untuk mencapai temperatur yang diinginkan (400 °C).
10. Hidupkan blower kemudian atur kecepatan aliran udara konstan 0,4 m/s; 0,7 m/s; dan 1,0 m/s dengan mengubah katup pengatur aliran udara.
11. Catat temperatur spesimen dan temperatur udara ruang bakar setiap satu menit sampai batas waktu 30 menit.
12. Catat pengurangan massa menggunakan alat *electronic top pan balance* yang dilakukan dalam interval waktu 1 menit sampai briket terbakar habis.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Temperatur Pembakaran



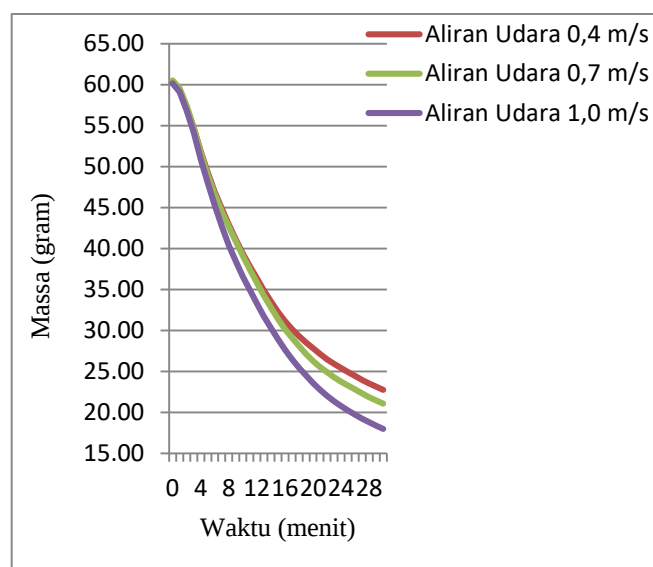
Gambar 3. Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Waktu Pembakaran

Pada gambar diatas menunjukkan temperatur pembakaran pada kecepatan aliran udara. Temperatur tertinggi pada kecepatan aliran udara pembakaran 1,0 m/s

yaitu 442,1 °C. Hal ini dipengaruhi oleh massa udara yang dialirkan pada saat pembakaran. Udara akan mengurangi atau memperlambat pencapaian temperatur maksimal. Sehingga semakin kecil kecepatan aliran udara yang diberikan semakin tinggi temperatur yang dicapai saat pembakaran. Temperatur tertinggi pada aliran dicapai selama 9 menit, hal ini sama pada aliran 0,4 m/s dan 0,7 m/s masing-masing mencapai temperatur tertinggi pada 9 menit dan 9 menit.

Pembakaran arang briket diatas temperatur awal pembakaran atau temperatur ruang tungku (*pre heat*) dikondisikan 400 °C. Temperatur secara cepat mengalami kenaikan, dikarenakan briket tanpa melalui devolatilisasi atau proses dekomposisi. Pembakaran briket hanya mengalami proses pengeringan kadar air kemudian langsung proses pembakaran arang. Setelah mencapai temperatur tinggi, pada umumnya suatu pembakaran akan mengalami penurunan temperatur seiring dengan menyusutnya massa briket.

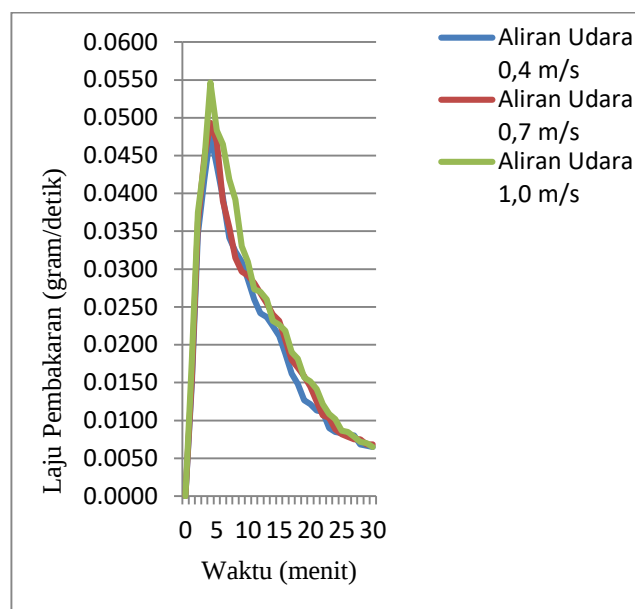
4.2 Pengujian Laju Pengurangan Massa Pembakaran



Gambar 4. Grafik Hubungan Massa Terhadap Waktu Pembakaran

Pengurangan massa pada pembakaran briket berbanding lurus dengan waktu. Dimana semakin tinggi temperatur yang dicapai maka semakin cepat pula pengurangan massa pembakaran. Terbukti pada grafik pengurangan massa diatas, pembakaran paling cepat pada aliran udara 1,0 m/s. Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran. Pengurangan massa pada masing-masing aliran udara mengalami penurunan yang signifikan pada menit-menit pertengahan pembakaran. Hal ini sesuai dengan kenaikan temperatur pembakaran yang mencapai titik puncak pada menit-menit pertengahan.

4.3 Pengujian Laju Pembakaran Briket



Gambar 5. Grafik Hubungan Laju Pembakaran Terhadap Waktu Pembakaran

Pengujian di atas menunjukkan laju pembakaran paling cepat adalah pada aliran massa udara 1,0 m/s. Laju pembakaran dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur maka semakin singkat waktu yang dibutuhkan dalam pembakaran. Tingginya temperatur juga berpengaruh pada pencapaian titik puncak dalam laju pembakaran. Grafik menunjukkan titik puncak tertinggi dicapai oleh aliran massa udara 1,0 m/s, yaitu 0,0547 gr/mnt. ut terbakar, sehingga laju pembakaran semakin cepat.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data penelitian mengenai pengaruh variasi kecepatan aliran udara terhadap karakteristik pembakaran briket arang daun jati, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Laju pembakaran tercepat dicapai pada kecepatan pembakaran 1,0 m/s, hal ini dipengaruhi oleh jumlah udara yang dipakai untuk pembakaran lebih sedikit sehingga proses pembakaran menjadi lebih cepat.
2. Temperatur tertinggi dicapai pada kecepatan aliran udara 1,0 m/s dan bahan bakar lebih cepat habis, dikarenakan jumlah massa udara yang sedikit akan mempermudah pencapaian temperatur tinggi.
3. Semakin besar kecepatan aliran udara, maka pengurangan massa akan semakin cepat. Jika temperatur udara yang dialirkan ke ruang bakar semakin tinggi maka akan menyebabkan pengurangan massa semakin cepat pula.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2006. *Bahan Energi Alternatif*, <http://www.bumn.go.id>.
BPPT, (2009). *Teknologi Energi untuk Mendukung Keamanan Pasokan Energi*.

- Duncan, R.B., (1976). The ambidextrous organization: designing dual structures for innovation. In: Kilmann, R.H., Pondy, L.R., Slevin, D. (Eds.), *The Management of Organization*, vol. 1. North-Holland, New York, NY, 167–188.
- Himawanto, D. A., (2005); *Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket Sampah Kota*. Media Mesin. Vol. 6, No. 2. Pp: 84 - 91.
- Levenspiel, O., (1972); *Chemical Reaction Engineering*, John Wiley & Sons, 2nd ed., Singapore.
- Outlook Energi Indonesia; (2009); BPPT Press, Jakarta.
- Pengmei Lv, Chang, J., Wang, T., dan Wu, C. A., 2004; *Kinetic Study on Biomass Fast Catalytic Pyrolysis*, Jurnal Energy & Fuels 18, 1865 – 1869.
- Rohidi, Tjetjep Rohendi, (1992); *Analisis Data Kualitatif*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Saleh, Asri, (2013); *Efisiensi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Terhadap Nilai Kalor Pembakaran pada Biobriket Batang Jagung*. Jurnal Teknosains. Vol. 7, No. 1, Pp: 78 - 89.
- Saputro, D. D., Widayat D., (2007), *Biomass sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan di Indonesia*. Jurnal Profesional. Vol 5. No. 2. Pp. 705-716.
- Subroto, 2006; *Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara, Ampas Tebu dan Jerami*. Media Mesin. Vol. 7, No.2, Pp: 47 - 54.
- Sugiyono; (2005); *Statistika untuk Penelitian*; CV. Alfa Beta; Bandung.
- Sulistiyanto, A., (2006); *Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara dan Sabut Kelapa*. Vol. 7, No. 2, Pp: 77 - 84.
- Syafi'i, W., (2003); *Hutan Sumber Energi Mass Depan*. <http://www.kompas.co.id>. Harian Kompas. 15 April 2003.
- Syamsiro, M. Dan Harwin Saptoadi, (2007); *Pembakaran Briket Biomassa Cangkang Kakao: Pengaruh Temperatur Udara Preheat*, Seminar Nasional Teknologi 2007 (SNT 2007), Yogyakarta.
- Thoha, M. Yusuf dan Fajrin, Diana Ekawati, 2010; *Pembuatan Briket Arang dari Daun Jati Dengan Sagu Aren Sebagai Pengikat*. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 17, No. 1.
- Wahyudi, (2007); *Karakteristik Pembakaran Biobriket dari Campuran Batubara dan Limbah Padat Pertanian*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Vol. 10, No. 2, Pp: 178 – 191.
- Widowati, Tri. (2003). *Pembuatan Arang Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Mahoni dan Uji Kualitas*; UNY; Yogyakarta.