

PENGARUH JENIS BIOMASSA DAN KECEPATAN ALIRAN UDARA TERHADAP KINERJA KOMPOR GASIFIKASI BIOMASSA

THE INFLUENCE OF THE BIOMASS TYPE AND THE SPEED OF AIR FLOW ON THE PERFORMANCE OF BIOMASS GASIFICATION STOVE

Chartika Fadilah Prasetiani.CH.A¹, Drs. Suwandi., M.Si², Reza Fauzi Iskandar, S.Pd., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹chartikafadilah@gmail.com ²suwandi.sains@gmail.com ³rezafauzii@gmail.com

Abstrak

Sumber energi alternatif dari limbah pengolahan perhutanan dan pertanian memiliki potensi yang berlimpah, hal tersebut dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil seperti minyak tanah dan gas bumi (LPG). Ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil tersebut masih tinggi, sehingga menyebabkan ketersediaan terbatas dan cenderung berkurang. Oleh karena itu, memerlukan penanganan dalam pemanfaatan sumber energi alternatif diantaranya sumber energi yang berasal dari biomassa. Salah satu teknologinya yaitu diaplikasikan pada kompor dengan teknik gasifikasi *Top-Lit Updraft*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja kompor gasifikasi dari variasi jenis biomassa dan kecepatan aliran udara pada reaktor. Pengujian kompor gasifikasi biomassa dilakukan sesuai prosedur SNI Tungku Biomassa 7.926, tahun 2013. Setiap pengujian yang dilakukan menggunakan tiga variasi jenis biomassa, yaitu : *wood pellet* sekam padi, *wood pellet* kayu jati dan *wood pellet* kayu sengon. Metode pengujian menggunakan enam variasi kecepatan aliran udara primer, yaitu: 1,1 m/s; 2,5 m/s; 3,5 m/s; 4,5 m/s; 5 m/s dan 5,4 m/s. Hasil pengujian kompor gasifikasi biomassa yang dilakukan dengan bahan bakar *wood pellet* sekam padi memiliki total waktu operasi kompor tercepat dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s, massa bahan bakar 0,3 kg dengan waktu pengoperasian kompor selama 10,46 menit. Bahan bakar *wood pellet* sekam padi yang digunakan untuk mendidihkan air sebanyak satu liter membutuhkan waktu 5,56 menit, dengan temperatur reaktor (temperatur nyala api) sebesar 295,4 °C. Nilai efisiensi termal tertinggi pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi sebesar 47,65 %.

Kata kunci: kompor biomassa; T-LUD; *wood pellet*.

Abstract

Alternative energy sources from forestry and agricultural processing waste has abundant potential, this can reduce people's dependence on fossil fuels such as kerosene and natural gas (LPG). Society dependency on fossil fuels is still macro, causing limited availability and tends to decrease. Therefore, it requires handles in the use of alternative energy sources such as energy sources derived from biomass. One of the technologies is applied to the stove using the *Top-Lit Updraft* gasification technique. This research aims to determine the performance of gasification stoves from variations in biomass type and velocity of air flow in the reactor. The testing of biomass gasification stoves was carried out according to the SNI Furnace Biomass 7.926 procedure in 2013. Each test carried out using three variations of biomass types, namely: rice husk *wood pellets*, teak *wood pellets* and sengon *wood pellets*. The test method uses six variations of the primary air flow velocity, namely: 1.1 m / s; 2.5 m / s; 3.5 m / s; 4.5 m / s; 5 m / s and 5.4 m / s. Result the testing of biomass gasification stoves with rice husk pellet wood has the fastest operating time of the stove with an air flow rate of 5.4 m / s, a fuel mass of 0.3 kg with a stove operating time of 10.46 minutes. Pellet rice husk wood fuel used to boil one liter of water takes 5.56 minutes, with the reactor temperature (flame temperature) of 295.4 ° C. The highest thermal efficiency value in rice husk pellet wood fuel is 47.65%.

Keywords: biomass stove; T-LUD; *wood pellets*.

1. Pendahuluan

Sumber energi alternatif saat ini banyak dimanfaatkan dari limbah pengolahan pertanian dan perhutanan, salah satunya yaitu biomassa. Biomassa dapat menjadi solusi dalam menyelesaikan masalah di masyarakat, khususnya penggunaan LPG (*Liquified Petroleum Gas*) yang semakin meningkat dan banyak diminati oleh masyarakat. Untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti gas bumi dan minyak maka digunakan sumber energi dari biomassa sekam padi dan kayu. Pemanfaatan biomassa dari limbah pertanian dan

perhutanan dapat meningkatkan suatu nilai guna dari biomassa tersebut. Salah satu pemanfaatannya dengan menggunakan metode konversi energi biomassa yaitu gasifikasi pada kompor yang telah dirancang khusus dengan memanfaatkan biomassa sebagai bahan bakar.

Kompor gasifikasi biomassa telah diteliti sebelumnya, salah satunya yaitu oleh Wijianto (2015), yang melakukan sebuah penelitian mengenai variasi kecepatan aliran udara pada tungku gasifikasi limbah biomassa terhadap nyala efektif dan temperatur pembakaran. Penelitian ini menggunakan sistem *updraft gasifier*. Variasi aliran udara yang dihasilkan dari *blower* udara digunakan untuk menyuplai oksigen ke dalam reaktor. Limbah biomassa seperti potongan bambu, jerami, potongan kayu, dan sekam padi digunakan sebagai bahan baku untuk proses gasifikasi. Semua limbah biomassa dihancurkan untuk memperoleh ukuran yang seragam yaitu 20 mesh. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara terbaik 10 m/s dan bahan baku terbaik sebagai sumber panas dari proses gasifikasi adalah sekam padi. Gasifikasi ini menghasilkan waktu nyala efektif selama 33 menit dan rata-rata temperatur adalah 600°C [1].

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai kinerja dari kompor gasifikasi biomassa yang menggunakan sistem *Top-Lit Up Draft* (TLUD) yang pengaruh oleh beberapa faktor yaitu variasi jenis biomassa dan kecepatan aliran udara. Beberapa parameter uji yang menunjukkan kinerja kompor gasifikasi yaitu temperatur nyala api (temperatur reaktor), laju konsumsi bahan bakar, dan waktu mendidihkan air.

2. Dasar Teori

2.1 Biomassa

Biomassa merupakan sumber daya terbarukan dengan suatu campuran dari material yang sangat kompleks, yang terdiri dari lemak, karbohidrat, protein, dan lain sebagainya. Biomassa dapat dikonversi menjadi suatu energi terbarukan dengan menggunakan beberapa teknik konversi energi [4]. Aspek komponen penting dari biomassa yaitu mengandung lignin dan selulosa dengan jumlah banyak berpotensi tinggi untuk dikonversi sebagai energi. Limbah biomassa seperti sekam padi dan serbuk kayu dapat diolah menjadi suatu *wood pellet* dengan kualitas baik yang memiliki sifat seperti tekstur yang halus, tidak mudah pecah, keras, dan waktu nyala yang cukup lama. *Wood pellet* adalah sebuah padatan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dengan ketahanan dalam menjaga kualitas api pembakaran [2]. Sekam padi memiliki sifat dan karakteristik meliputi berat jenis yang kecil sekitar 122 kg/m³, jumlah abu hasil pembakaran yang tinggi dengan temperatur titik lebur abu yang rendah. Titik lebur yang rendah disebabkan oleh kandungan alkali dan alkalin yang relatif tinggi. Kandungan uap air (*moisture*) pada biomassa umumnya lebih tinggi dibandingkan bahan bakar fosil, akan tetapi kandungan uap air pada sekam padi relatif sedikit karena sekam padi merupakan kulit padi yang kering sisa proses penggilingan [3]. Kayu jati sebagian besar terdiri dari selulosa : 47,5%, lignin 29,9%, dan zat lain (termasuk gula) 12% [4]. Pada kayu sengon mengandung lignin 37,31%, hemiselulosa 45,35%, selulosa 52,14% , kadar air : 2,91%, dan kadar abu : 1,26%, [5].



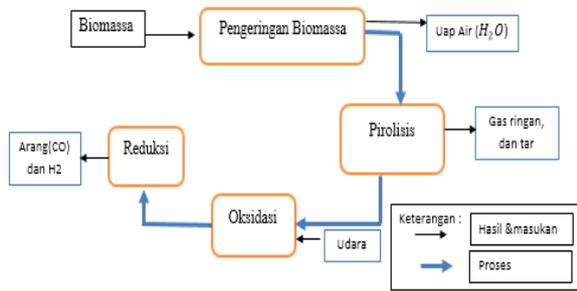
Gambar 1. *Wood Pellet*

2.2 Proses Gasifikasi

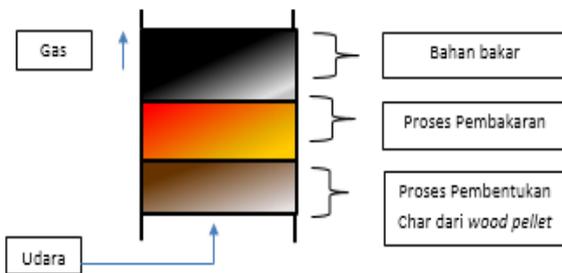
Dalam proses konversi biomassa menjadi energi memiliki tiga proses utama yaitu pirolisis, gasifikasi, dan pembakaran. Pirolisis merupakan konversi dari padat/cair menjadi gas tanpa media gasifikasi. Pirolisis menggunakan energi panas dari sumber eksternal pada suhu 200-300°C. Gasifikasi adalah proses terjadinya perubahan bahan bakar padat berupa biomassa menjadi gas dengan proses secara termokimia. Gasifikasi dapat diartikan juga sebagai salah satu teknik pembakaran atau konversi material cair maupun padat menjadi suatu bahan bakar gas dengan udara yang terbatas. Proses ini memanfaatkan panas dari hasil proses reaksi pembakaran. Gas yang dihasilkan pada teknik pembakaran memiliki nilai bakar sehingga dapat menghasilkan suatu energi. Proses gasifikasi pada biomassa akan menghasilkan gas yang utama yaitu CO₂, NO₃, CH₄, H₂, bahan cair dan bahan padat [6]. Secara umum gasifikasi terdiri dari empat tahapan proses yaitu : tahap *drying* atau pengeringan, tahap pirolisis, tahap oksidasi dan tahap reduksi.

Sistem pembakaran pada *gasifier* berdasarkan kontak antara gas dan bahan bakar terdiri dari unggun terfluidakan (*fluidized bed system*), dan sistem unggun tetap (*fixed bed system*). *Fluidized bed system* adalah sistem yang dioperasikan dengan cara memfluidakan partikel bahan bakar dengan gas pendorong yang berupa udara atau oksigen, di mana gas pendorong tersebut berfungsi untuk sebagai reaktan dan sebagai medium fluidisasi. Sistem tersebut banyak digunakan untuk aplikasi dalam skala kecil. Berdasarkan arah alirannya terbagi atas empat sistem

yaitu : *updraft gasification*, *dondraft gasification*, *crossdraft gasification* dan *top-lit up draft gasification*. Selanjutnya *Fixed bed system* adalah sistem dengan (*grate*) yang dikonstruksikan untuk menopang bahan bakar dan mempertahankan bahan bakar dalam keadaan tetap seperti fluida. Sistem tersebut digunakan untuk skala yang lebih besar [7].



Gambar 2. Tahapan gasifikasi;



Gambar 3. Prinsip Top Lit Up Draft (T-LUD) gasifier

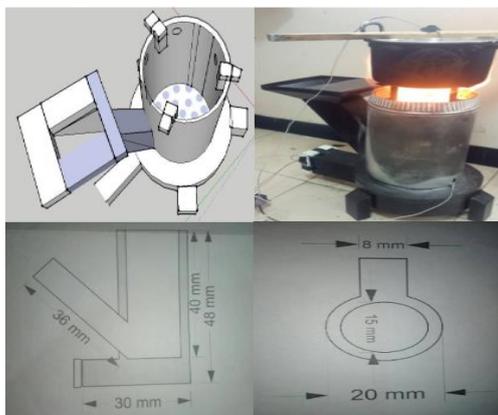
Pada penelitian ini digunakan tipe gasifikasi *Top-Lit Up Draft* (TLUD) Gasifikasi tipe *Top-Lit Up Draft* (TLUD) adalah tipe dengan inovasi baru yang telah dikonsept pada tahun 1985 oleh Thomas B. Reed. Prinsip kerja reaktor gasifikasi dari sistem tipe *Top-Lit Up Draft* (TLUD) memiliki kelebihan yaitu mudah dalam penyalaan karena dilakukan pada posisi bagian atas. Namun reaktor gasifikasi *Top-Lit Up Draft* (TLUD) memiliki kekurangan yaitu tidak dapat dioperasikan secara berkesinambungan [8]. Panas yang telah dihasilkan dari penyalaan bahan bakar akan terurai. Setelah itu bahan bakar tersebut akan bergerak ke bawah, di mana pergerakannya tergantung dari suplai udara yang diberikan dan gas hasil pirolisis bergerak ke atas. Hal tersebut membuat bahan bakar yang berada dibagian atas akan berubah menjadi arang (*char*) atau karbon. Karbon kemudian bereaksi dengan udara yang disuplai, sehingga gas yang dikonversi menjadi gas yang mudah terbakar.

2.3 SNI Tungku Biomassa

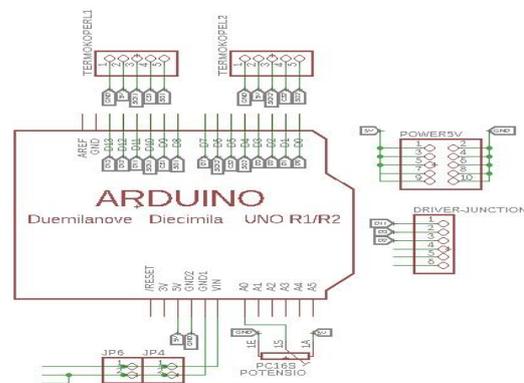
Dalam penelitian ini digunakan metode yang sesuai dengan standar SNI Tungku Biomassa. Sesuai standar SNI Tungku Biomassa menetapkan waktu operasi kompor dan konsumsi bahan bakar kompor biomassa ≤ 1 kg/jam serta efisiensi termal minimal 20 %, sesuai dengan SNI Tungku Biomassa (SNI 7.926, tahun 2013). SNI tungku biomassa merupakan standar yang menetapkan syarat-syarat diantaranya efisiensi pembakaran, tata cara pengujian, dan aspek keselamatan.

3. Metodologi Penelitian

Kompor gasifikasi menggunakan dua sistem yaitu sistem mekanik dan sistem elektrik. Pada bagian sistem mekanik merupakan badan dari kompor yang memiliki tinggi 48 cm dengan diameter luar 20 cm dan diameter dalam 15 cm (sebagai tempat ruang pembakaran), dengan total jumlah lubang sebanyak 65 lubang. Untuk lubang atas terdiri dari 32 lubang dan lubang bawah terdiri dari 33 lubang. Serta pada bagian bawah kompor terdapat lubang berbentuk balok dengan dimensi (8 x 10 x 8) cm sebagai jalur masuk aliran udara kipas. Rancangan kompor dapat dilihat pada Gambar 4. Sistem elektrik yang digunakan pada kompor gasifikasi biomassa terdiri dari beberapa komponen. Sistem elektrik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Rancangan Kompor



Gambar 5. Sistem Elektrik

Variabel yang akan diuji adalah variasi bahan bakar dan variasi kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam kompor biomassa. Untuk pengujian variasi jumlah lubang udara *gasifier* dilakukan tiga perlakuan. Perlakuan pertama dengan kondisi awal *gasifier* yakni lubang udara terbuka semua, perlakuan kedua dengan

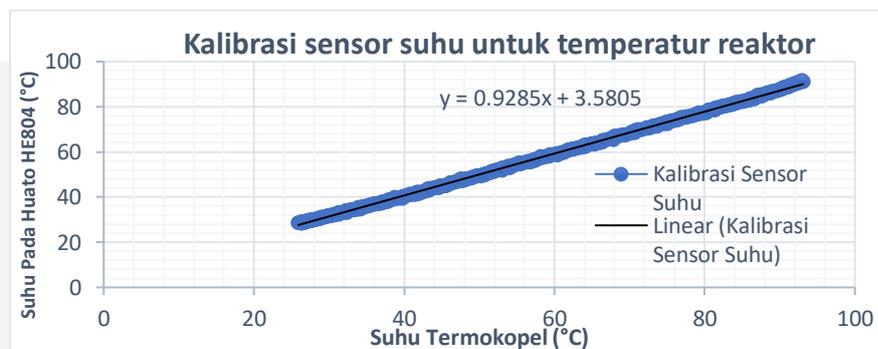
kondisi lubang udara bagian bawah tertutup semua, dan perlakuan ketiga dengan kondisi lubang udara bagian samping tertutup sebagian. Dan untuk pengujian variasi kecepatan aliran udara dilakukan dengan cara mengatur kecepatan putar kipas dengan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) agar menghasilkan kecepatan aliran udara (m/s) yang berbeda dengan kecepatan 0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s dan 4 m/s. Pengukuran temperatur air yang dididihkan menggunakan sensor termokopel tipe K disambungkan pada modul MAX6675 sebelum dihubungkan dengan Arduino agar dapat diakuisisi data dari sensor tersebut dan data yang terekam oleh serial monitor dapat disimpan serta diolah. Sedangkan untuk kipas akan diberi daya 12 V agar dapat beroperasi, kemudian dihubungkan dengan *driver motor* sebagai *switch* atau pengatur keluaran tegangan motor DC pada kipas. *Driver motor* menerima sinyal dari Arduino agar dapat melakukan hal tersebut. Parameter yang diukur dalam pengujian kompor pada penelitian ini adalah laju kalor, *fuel consumption rate* (FCR), efisiensi termal, dan persentase *char* yang dihasilkan.

4. Metodologi Penelitian

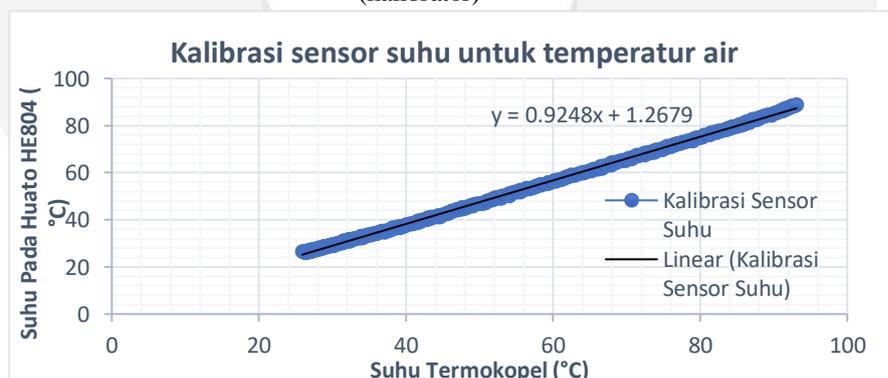
4.1 Hasil Pengujian Sistem Elektrik

4.1.1 Hasil Kalibrasi pada Sensor Termokopel

Fungsi pada kalibrasi sensor termokopel yang akan digunakan agar pengukuran yang telah dilakukan oleh termokopel dan penguat dari termokopel yaitu MAX6675 sesuai dengan suhu lingkungan sebenarnya pada *digital thermometer huato* HE804. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua termokopel yaitu untuk pengukuran temperatur reaktor dan pengukuran temperatur air dengan range suhu 30°C - 100°C.



Gambar 6 Kurva kalibrasi sensor suhu untuk temperatur reaktor yang digunakan terhadap instrumen standar (kalibrator)



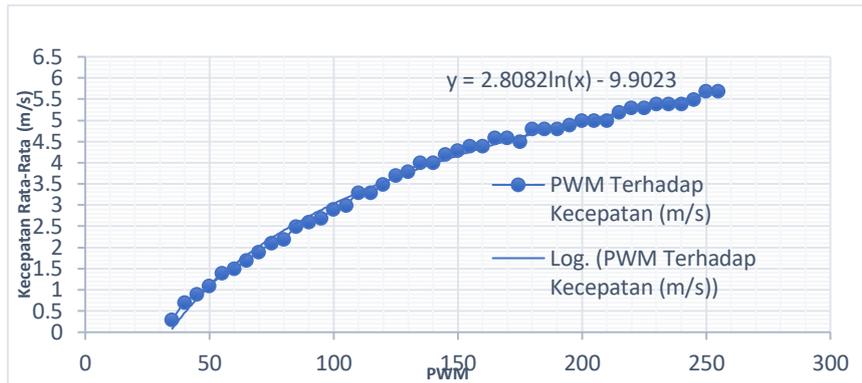
Gambar 7. Kurva kalibrasi sensor suhu untuk temperatur air yang digunakan terhadap instrumen standar (kalibrator)

Dari gambar 6 dan gambar 7 diperoleh hasil data yang linier antara nilai yang terbaca sensor suhu menggunakan termokopel dengan nilai yang terbaca oleh kalibrator Huato HE804. Rata-rata perbedaan suhu atau error pada kalibrasi sensor suhu untuk temperatur reaktor yaitu sebesar 1,44 °C (2,96 %), sedangkan rata-rata perbedaan suhu atau error pada kalibrasi sensor suhu untuk temperatur air yaitu sebesar 2,88 °C (5,04 %).

4.1.2 Hasil Karakterisasi Kecepatan Aliran Udara Kipas

Fungsi mengkarakterisasi kecepatan aliran udara pada kipas yang digunakan saat pengujian agar output kecepatan aliran udara kipas sesuai dengan input yang diinginkan. Dalam penelitian ini, input diberikan berdasarkan nilai PWM dalam rentang 0-255 PWM dengan kenaikan nilai 5 PWM. Dari gambar 8, Input nilai PWM kemudian dibaca oleh kalibrator *Hot Wire Anemometer* YK-2005AH dan menghasilkan nilai kecepatan dengan satuan m/s. Nilai-nilai duty cycle PWM yang memenuhi adalah 50; 1,1 m/s, 85; 2,5 m/s, 120; 3,5 m/s, 175;

4,5 m/s, 210; 5 m/s, 240; 5,4 m/s. Rata-rata perbedaan kecepatan aktual dengan kecepatan kalibrator sebesar 3,02%.



Gambar 8. Kurva karakterisasi kecepatan aliran udara kipas terhadap nilai PWM yang diberikan.

4.1.3 Hasil Pengujian Kompor Gasifikasi Biomassa

4.1.3.1. Laju Konsumsi Bahan Bakar

Laju konsumsi bahan bakar/laju pembakaran pada gasifier, ditiap variasi jenis biomassa dan kecepatan aliran udara yang berbeda, untuk jenis biomassa kayu jati dan kayu sengon sudah memenuhi standar SNI Tungku Biomassa yaitu nilai FCR sebesar maksimum 1 kg/jam. Tetapi ada beberapa kecepatan tertentu pada bahan bakar jenis kayu jati dan kayu sengon yang belum memenuhi standar SNI. Untuk bahan bakar jenis sekam padi tidak memenuhi standar SNI Tungku Biomassa untuk pengujian laju konsumsi bahan bakar karena lebih dari maksimum 1 kg/jam. Penyebab dari tidak terpenuhinya sesuai dengan Standar SNI Tungku Biomassa yaitu kandungan kalor spesifik yang rendah dari jenis biomassa dan total waktu operasi pengujian.

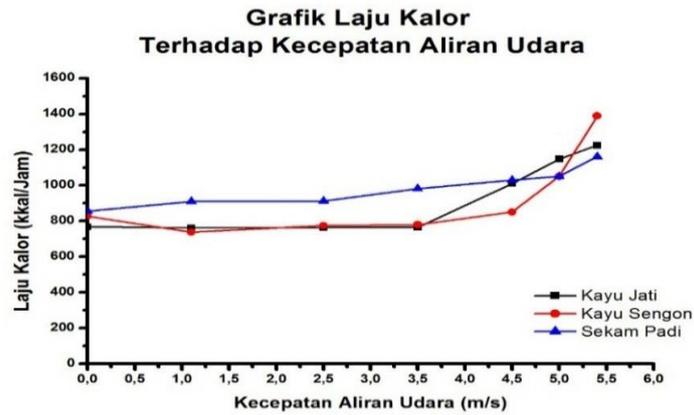


Gambar 9. Grafik FCR Biomassa ditiap Variasi Jenis Biomassa dengan Kecepatan Aliran Udara.

Dengan kondisi penambahan aliran udara, laju pembakaran terbesar dari tiga variasi jenis biomassa sebesar 1,572 kg/jam, kecepatan 5,4 m/s pada jenis biomassa sekam padi dengan massa 0,3 kg, dan laju pembakaran terkecil dari tiga variasi jenis biomassa sebesar 0,9641 kg/jam dengan kecepatan 1,1 m/s pada bahan bakar kayu jati. Karena semakin banyak biomassa yang digunakan dengan kecepatan aliran tertentu maka akan semakin tinggi laju konsumsi bahan bakar. Dengan kondisi tanpa kecepatan aliran udara bantu laju pembakaran terbesar dari tiga jenis biomassa yaitu 1,058 kg/jam. Dan laju konsumsi terkecil dari tiga jenis biomassa yaitu 0,9254 kg/jam, jenis biomassa kayu jati dengan massa 0,3 kg. Karena semakin banyak biomassa maka akan perlu waktu lebih untuk membakar bahan tersebut. Penelitian untuk massa bahan bakar sebesar dua kg dan air yang digunakan sebesar dua liter, didapatkan laju konsumsi bahan bakar lebih dari maksimum 1 kg/jam.

4.1.3.2. Laju Kalor

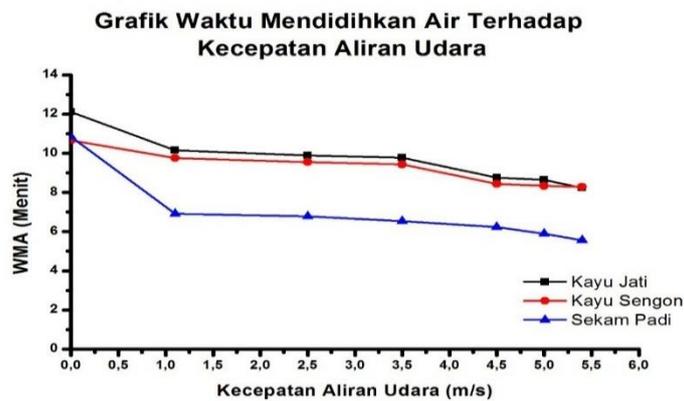
Laju perpindahan kalor Q pada proses pengujian kompor biomassa ini menunjukkan kemampuan kompor untuk meningkatkan dan menguapkan suhu air yang dididihkan selama periode waktu kompor beroperasi. Laju kalor tertinggi dari tiga jenis biomassa dengan kondisi penambahan aliran udara diperoleh saat kecepatan 5,4 m/s dengan $Q= 1378,45$ kkal/jam, pada jenis biomassa *wood pellet* kayu sengon dengan massa 0,3 kg, sedangkan laju kalor terendah dari tiga jenis biomassa diperoleh saat kecepatan 1,1 m/s dengan $Q= 737,049$ kkal/jam, pada jenis biomassa *wood pellet* kayu sengon dengan massa 0,3 kg. Sedangkan untuk kondisi tanpa kecepatan aliran udara, kalor tertinggi dari tiga jenis biomassa diperoleh oleh bahan bakar *wood pellet* sekam padi dengan massa 0,3 kg, yaitu sebesar 855,81 kkal/jam. Dari grafik kecepatan aliran udara dan kalor spesifik yang terkandung pada *wood pellet* mempengaruhi laju kalor yang dihasilkan ditiap perlakuan variasi jenis biomassa *wood pellet*. Maka semakin tinggi kecepatan aliran udara yang diberikan akan semakin besar pula perpindahan energi melalui kalor pada proses pengoperasian kompor biomassa.



Gambar 10. Grafik Laju Kalor kompor gasifikasi biomassa ditiap variasi jenis biomassa dengan kecepatan aliran udara;

4.1.3.3. Waktu Mendidihkan Air

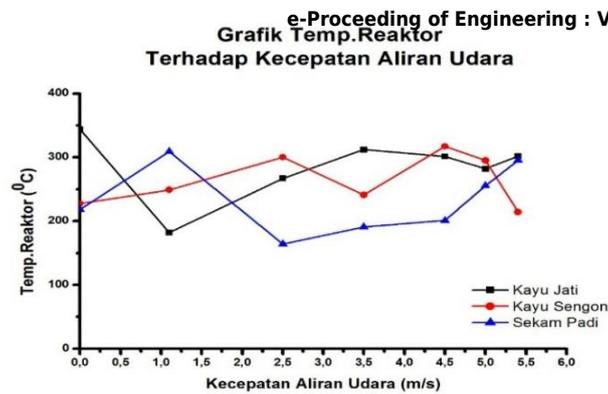
Waktu mendidihkan air, di mana semakin tinggi temperatur awal udara maka temperatur pembakaran semakin tinggi, sehingga mempengaruhi waktu pendidihan air. Dalam mendidihkan air waktu tercepat dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 5,56 menit dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s, air yang digunakan sebesar satu liter, dan berat bahan bakar sebanyak 0,3 kg pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi. Sedangkan untuk mendidihkan air dengan waktu terlama yaitu sebesar 10,16 menit dengan kecepatan aliran udara sebesar 1,1 m/s, dengan massa bahan bakar kayu jati 0,3 kg. Sedangkan dalam kondisi tanpa kecepatan aliran udara, dalam mendidihkan air waktu tercepat sebesar 10,66 menit, dengan massa 0,3 kg pada bahan bakar *wood pellet* kayu sengon. Untuk waktu terlama dalam mendidihkan air sebesar 12,11 menit, dengan massa 0,3 kg pada bahan bakar *wood pellet* kayu jati. Di mana kalor spesifik atau kepadatan dari bahan bakar semakin tinggi maka waktu penyalaan kompor semakin lama. Dan jika semakin banyak massa bahan bakar dan massa air yang digunakan untuk mendidihkan air akan semakin lama.



Gambar 11. Grafik waktu mendidihkan air pada kompor gasifikasi biomassa ditiap variasi jenis biomassa dengan kecepatan aliran udara

4.1.3.4. Temperatur Nyala Api (Temp. Reaktor)

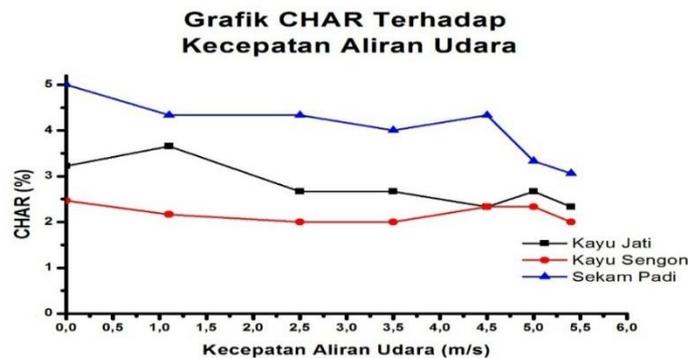
Dengan adanya penambahan udara pada reaktor temperatur nyala api semakin tinggi dan mencapai temperatur nyala api tertinggi lebih cepat. Karena dengan bertambahnya suplai udara maka jumlah oksigen yang dipergunakan untuk pembakaran pada daerah oksidasi juga semakin meningkat. Hal ini juga menyebabkan waktu nyala efektif menjadi semakin pendek. Pada grafik dengan kondisi penambahan aliran udara temperatur reaktor (temperatur nyala api) tertinggi dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 317 °C, air yang digunakan sebesar satu liter, massa bahan bakar 0,3 kg, pada bahan bakar *wood pellet* kayu sengon dengan kecepatan aliran udara 4,5 m/s. Sedangkan temperatur reaktor (temperatur nyala api) terendah dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 164 °C, air yang digunakan sebesar satu liter, massa bahan bakar 0,3 kg, pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi dengan kecepatan aliran udara 2,5 m/s. Dalam kondisi tanpa kecepatan aliran udara temperatur reaktor (temperatur nyala api) tertinggi dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 343,8 °C, air yang digunakan sebesar satu liter, massa bahan bakar 0,3 kg, pada bahan bakar *wood pellet* kayu jati. Sedangkan temperatur reaktor (temperatur nyala api) terendah dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 218 °C, air yang digunakan sebesar satu liter, massa bahan bakar 0,3 kg, pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi.



Gambar 12. Grafik Temp.Reaktor pada kompor gasifikasi biomassa ditiap variasi jenis biomassa dengan kecepatan aliran udara,

4.1.3.5. Presentase Char

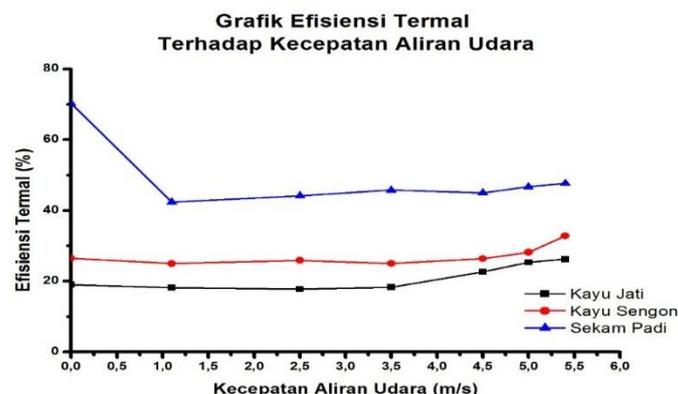
Kompor biomassa menggunakan prinsip T-LUD dengan penyalaan api bagian atas, di mana char yang dihasilkan langsung terbentuk pada awal pengoperasian kompor. Untuk persentase char yang rendah diakibatkan oleh konsumsi bahan bakar yang kecil dan waktu pengoperasian kompor yang tidak membutuhkan waktu lama sehingga biomassa tidak terbakar dengan sempurna. Persentase char yang tertinggi dari tiga jenis biomassa yaitu pada *wood pellet* sekam padi sebesar 4% dengan kecepatan aliran udara 3,5 m/s. Sedangkan persentase char terendah dari tiga jenis biomassa yaitu *wood pellet* kayu sengon sebesar 2% dengan kecepatan aliran udara 2,5 m/s, 3,5 m/s dan 5,4 m/s. Persentase char tanpa kecepatan aliran udara dari tiga jenis biomassa yang tertinggi yaitu *wood pellet* sekam padi sebesar 5%, sedangkan untuk persentase char terendah dari tiga jenis biomassa yaitu *wood pellet* kayu sengon sebesar 2,46%.



Gambar 13. Grafik persentase char yang dihasilkan pada kompor gasifikasi biomassa ditiap variasi jenis biomassa dengan kecepatan aliran udara.

4.1.3.6. Efisiensi Termal

Laju kalor mempengaruhi nilai efisiensi termal. Semakin tinggi nilai laju kalor maka akan semakin tinggi pula efisiensinya. Nilai efisiensi termal tertinggi pada bahan bakar *wood pellet* kayu jati sebesar 26,23% dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s. Nilai efisiensi tertinggi pada bahan bakar *wood pellet* kayu sengon sebesar 32,83% dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s. Sedangkan untuk nilai efisiensi tertinggi pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi sebesar 47,65% dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s. Dari ketiga jenis biomassa nilai efisiensi tertinggi yaitu pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi. Nilai Efisiensi tanpa kecepatan aliran udara dari tiga jenis biomassa yang tertinggi sebesar 70,28% pada bahan bakar wood pellet sekam padi.



Gambar 14. Grafik efisiensi termal pada kompor gasifikasi biomassa ditiap variasi jenis biomassa dengan kecepatan aliran udara

5. Kesimpulan

1. Secara umum, kompor gasifikasi biomassa menunjukkan performa kompor yang baik, dengan berbagai variasi baik itu variasi bahan bakar maupun kecepatan aliran udara. Performa kompor biomassa yang diuji sesuai dengan SNI Tungku Biomassa dalam hal konsumsi bahan bakar dan efisiensi termal. Waktu operasi kompor dan konsumsi bahan bakar kompor biomassa ≤ 1 kg/jam serta efisiensi termal minimal 20 %, sesuai dengan SNI Tungku Biomassa (SNI 7926, tahun 2013)
2. Laju konsumsi bahan bakar dengan kecepatan aliran udara, laju pembakaran terbesar dari tiga jenis biomassa sebesar 1,572 kg/jam, kecepatan 5,4 m/s pada jenis biomassa sekam padi dengan massa 0,3 kg, dan laju pembakaran terkecil dari tiga jenis biomassa sebesar 0,981 kg/jam dengan kecepatan 1,1 m/s pada bahan bakar kayu jati.
3. Laju kalor tertinggi dari tiga jenis biomassa dengan kecepatan aliran udara diperoleh saat kecepatan 5,4 m/s dengan $Q = 1378,45$ kkal/jam, air yang digunakan satu liter, pada jenis biomassa *wood pellet* kayu sengon dengan massa 0,3 kg.
4. Dalam mendidihkan air dengan kecepatan aliran udara, waktu tercepat dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 5,56 menit dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s, air yang digunakan sebesar satu liter, dan berat bahan bakar sebanyak 0,3 kg pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi. Sedangkan untuk mendidihkan air dengan waktu terlama dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 10,16 menit dengan kecepatan aliran udara sebesar 1,1 m/s, dengan massa bahan bakar kayu jati 0,3 kg.
5. Nilai Efisiensi tertinggi dari tiga jenis biomassa yaitu pada bahan bakar *wood pellet* sekam padi sebesar 47,65 %.
6. Temperatur reaktor (temperatur nyala api) tertinggi dari tiga jenis biomassa yaitu sebesar 317 °C, air yang digunakan sebesar satu liter, massa bahan bakar 0,3 kg, pada bahan bakar *wood pellet* kayu sengon dengan kecepatan aliran udara 4,5 m/s.
7. Dalam pengoperasian kompor dengan kecepatan aliran udara dapat mempercepat waktu pendidihan air dan laju konsumsi bahan bakar yang digunakan semakin banyak, dibandingkan dengan tanpa kecepatan aliran udara yang dapat memperlambat proses pengoperasian kompor.
8. Nilai optimal dari tiga jenis biomassa saat penggunaan kecepatan aliran udara yaitu dengan kecepatan aliran udara 5,4 m/s. Dari tiga jenis biomassa yang baik digunakan sebagai bahan bakar dari segi nilai efisiensi tertinggi dan waktu pengoperasian yang cepat yaitu *wood pellet* sekam padi. Pada *wood pellet* sekam padi memiliki kekurangan dari segi konsumsi bahan bakar yang banyak yaitu lebih dari 1 kg/jam, dan persentase char yang dihasilkan tinggi sebesar 4%.
9. Dari tiga jenis biomassa dan enam kecepatan aliran udara yang digunakan memiliki kelebihan dan kekurangan yang berpengaruh terhadap kinerja kompor gasifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijianto, Subroto dan Sarjito, "Variasi kecepatan aliran udara pada tungku gasifikasi limbah biomassa terhadap nyala efektif dan temperatur pembakaran," dalam *jurusan teknik mesin fakultas teknik, universitas muhammadiyah surabaya*, 2015.
- [2] A. Hartoyo. dan R. H, "Sifat-sifat Penyalaan dan pembakaran briket biomassa briket batubara dan arang kayu," *laporan penelitian*, 1978.
- [3] B. p. d. p. pertanian, "Sekam padi sebagai sumber energi alternatif dalam rumah tangga petani," 2008.
- [4] Pari.G, "Teknologi alternatif pemanfaatan limbah industri pengolahan kayu," *M.K Falsafah Sains. program pasca sarjana IPB*, p. 66, 2002.
- [5] D. hendra, "Rekayasa pembuatan mesin kayu dan pengujian hasilnya," *jurnal penelitian hasil hutan*, vol. 30, 2012.
- [6] "Perancangan dan optimasi kompor gas biomassa yang berimisi gas CO rendah menggunakan bahan bakar pelet biomassa dari limbah bagas," dalam *Winata, Resiana*, Depok, 2012.
- [7] C. O. Akudo, "Quantification of tars particulates form a pilot scale, downdraft biomass gasifier," dalam *Faculty of the louisiana state university and agrriultural and mechanical college*, Nigeria, 2008.
- [8] A. T. Belonio, "Rice husk gas stove handbook, appropriate technology center," dalam *Central Philippine University*, filipina, 2005.