

ANALISIS PENGARUH VARIASI BAHAN BAKAR BIOMASSA DAN POLA TIUPAN UDARA TERHADAP EFISIENSI KOMPOR GASIFIKASI TIPE UPDRAFT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF BIOMASS FUEL VARIATIONS AND AIR BREAKING PATTERNS ON THE EFFICIENCY OF UPDRAFT TYPE GASIFICATION STOVE

Sidik Purwoko Jati¹, Suwandi², Nurwulan Fitriyanti³

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

¹sidikpjati@student.telkomuniversity.ac.id, ²suwandi@telkomuniversity.ac.id,

³nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Indonesia sebagai negara agraris memiliki limbah pertanian yang cukup berlimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, namun pada faktanya masih mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah penggunaan LPG adalah dengan penggunaan biomassa. Sumber daya biomassa merupakan energi alternatif serta energi terbarukan karena dapat diperbarui. Maka dari itu, penelitian ini ditujukan untuk menganalisis pengaruh variasi biomassa dan pola tiupan udara terhadap efisiensi pada kompor gasifikasi tipe updraft. Pengujian dilakukan menggunakan metode SNI Tungku Biomassa dan bantuan kecepatan udara sebesar 4,50 m/s. Pengujian menggunakan variasi biomassa: yaitu *wood pellet* kayu sengon dan *wood pellet* sekam padi, variasi pola tiupan udara: yaitu *direct* dan *cyclone*, variasi ketinggian: yaitu 25 dan 40 cm dan variasi jumlah lubang: yaitu 30 dan 70. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan kinerja kompor gasifikasi tipe updraft sudah baik, didapatkan nilai laju konsumsi bahan bakar terbaik pada biomassa sengon dengan pola tiup *cyclone* dan tinggi gasifier 40 cm dengan lubang 70 sebesar 0,49 kg/jam, persentase char terbaik pada biomassa sengon dengan pola tiup *direct* dan tinggi gasifier 25 cm dengan lubang 70 sebesar 6,37%, dan efisiensi termal terbaik pada biomassa sengon dengan pola tiup *cyclone* dan tinggi gasifier 25 cm dengan lubang 70 sebesar 18,80%.

Kata kunci: Biomassa, Wood Pellet, Kompor Gasifikasi tipe Updraft, Pola Tiupan Udara.

Abstract

Indonesia as an agricultural country has abundant agricultural waste which can be used as fuel, but in fact it still relies on fossil fuels as the main energy source. One solution that can be used to solve the problem of using LPG is the use of biomass. Biomass resources are alternative energy and renewable energy because they can be renewed. Therefore, this study aims to analyze the effect of variations in biomass and air blowing patterns on the efficiency of updraft-type gasification stoves. The test was carried out using the SNI Biomass Furnace method and an air velocity assistance of 4.50 m/s. Tests used variations in biomass: namely sengon wood pellets and rice husk wood pellets, variations in air blowing patterns: namely direct and cyclone, variations in height: 25 and 40 cm and variations in the number of holes: 30 and 70. Based on the test results show stove performance updraft type gasification is good, the best rate of fuel consumption is obtained at sengon biomass with a cyclone blowing pattern and a gasifier height of 40 cm with a hole of 70 of 0.49 kg / hour, the best percentage of char is in sengon biomass with a direct blowing pattern and a gasifier height of 25 cm with hole 70 was 6.37%, and the best thermal efficiency was at sengon biomass with a cyclone blowing pattern and a gasifier height of 25 cm with hole 70 at 18.80%.

Keywords: Biomass, Wood Pellet, Updraft type Gasification Stove, Air Blowing Pattern.

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara agraris memiliki limbah pertanian yang cukup berlimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, namun pada faktanya masih mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama [1]. Ketersediaan energi fosil semakin menipis serta masalah yang dihadapi adalah meningkatnya penggunaan LPG (*Liquid Petroleum Gas*) dikalangan masyarakat Indonesia. Dengan adanya varian LPG 3 kg membuat permintaan penggunaan LPG semakin

meningkat dan adanya perpindahan konsumsi dari varian LPG 12 kg dan 50 kg, serta didukung dengan penggunaan yang mudah dan dapat dikontrol [2].

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah penggunaan LPG adalah dengan menggunakan biomassa. Biomassa merupakan bahan bakar yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan, serta salah satu energi alternatif yang saat ini sedang dikembangkan. Sumber daya biomassa merupakan energi terbarukan karena dapat diperbarui [1]. Beberapa contoh yang bisa digunakan menjadi bahan bakar yaitu kayu sengon dan sekam padi. Limbah tersebut dapat diaplikasikan menjadi bahan bakar biomassa kompor gasifikasi. Penulis memilih dua jenis biomassa tersebut karena memiliki beberapa keuntungan yaitu jumlah limbah tersebut yang sangat banyak, memiliki kadar air yang kecil sehingga cocok untuk dijadikan bahan bakar biomassa dan dengan banyaknya limbah tersebut belum ada pengelolaan yang sangat bermanfaat. Saat ini kompor gasifikasi sedang dikembangkan dalam berbagai sistem khususnya pada daerah pedesaan yang digunakan untuk skala rumah tangga.

Pada penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Chartika Fadilah Prasetyani tentang pengaruh jenis biomassa dan kecepatan aliran udara terhadap kinerja kompor gasifikasi biomassa serta pada penelitian tersebut dihasilkan performa kompor gasifikasi yang baik dengan laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,96 kg/jam dengan biomassa sekam padi dan kecepatan 1,10 m/s, persentase char sebesar 4% dengan biomassa sekam padi dan kecepatan 3,50 m/s, dan efisiensi termal sebesar 47,65% dengan biomassa sekam padi dan kecepatan 5,40 m/s. Serta, penelitian kedua yang dilakukan oleh Rizky Anggara tentang pengaruh jumlah lubang udara pada tungku pembakaran serta variasi kecepatan aliran udara terhadap kinerja kompor gasifikasi dengan bahan bakar pelet kayu jati serta dihasilkan performa kompor yang diuji efisiensi terbaik sebesar 13,55% dengan kecepatan 3,50 m/s dan lubang 40, persentase char terbaik sebesar 11,55% dengan kecepatan 2 m/s dan lubang 40, dan laju konsumsi bahan bakar terbaik sebesar 1,05 kg/jam dengan kecepatan 3,50 m/s dan lubang 20.

Maka dari itu, penulis melakukan pengamatan tentang kompor gasifikasi tipe updraft. Karena pada tipe ini ialah sederhana, mudah dalam penggunaan, dan memiliki tingkat pembakaran yang tinggi diantara tipe yang lain. Penelitian ini difokuskan pada variasi biomassa, variasi pola tiupan udara, variasi ketinggian dan jumlah lubang terhadap efisiensi pada kompor gasifikasi tipe updraft untuk mengetahui pengaruh variasi biomassa, variasi pola tiupan udara, variasi ketinggian dan jumlah lubang terhadap efisiensi pada kompor gasifikasi tipe updraft.

2. Dasar Teori dan Metodologi

2.1 Biomassa

Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang didapatkan dari sumber alami dan dapat diperbarui, seperti limbah pertanian dan perkebunan. Pengembangan dan pemanfaatan biomassa di Indonesia sangat cocok karena ketersediaan bahannya yang cukup besar. Terdapat beberapa keuntungan dari biomassa yaitu mengurangi limbah organik, mengurangi polusi udara, mengurangi efek gas rumah kaca, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta sebagai energi terbarukan [1].

a. Sekam Padi

Sekam padi merupakan limbah dari proses penggilingan padi, jika tidak dimanfaatkan dengan baik akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sekam padi banyak dimanfaatkan untuk media pupuk, media tanaman hias dan sebagai inkubasi ayam serta dimanfaatkan juga oleh industri sebagai bahan baku industri kimia karena mengandung kadar selulosa yang cukup tinggi dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil. Limbah sekam padi juga memiliki kadar air yang sangat kecil dibanding dengan biomassa yang lain sehingga mudah dalam proses pembakaran. Nilai kalor dari sekam padi sebesar 3.300 kkal/kg dan kadar air sebesar 3,65%.

Kualitas bahan bakar biomassa yang digunakan perlu diketahui karakteristiknya, agar mengetahui kandungan kimia yang terdapat didalamnya serta kandungan air, zat terbang, kadar abu dan karbon padat. Data analisis proximate dan ultimate sekam padi ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Proximate dan Ultimate Sekam Padi

No	Parameter	Unit	Nilai
1	Moisture content	% wt	9,20

2	Ash content	% wt	17,50	
3	Volatile matter	% wt	65,30	
4	Fixed carbon	% wt	17,40	
5	Density	Kg/m ³	188	
6	LHV	MJ/kg	13,82	
7	HHV	MJ/kg	14,10	
8	Komponen	C	% wt	37,60
		H	% wt	5,00
		N	% wt	0,30
		S	% wt	0
		O	% wt	36,60

b. Sengon

Kayu sengon adalah jenis kayu lunak dan berpori besar serta tumbuhan yang dibudidayakan untuk bahan baku beberapa macam olahan seperti kerajinan dan bahan bangunan. Salah satu permasalahan yang terjadi adalah belum terpikirkannya pengelolaan limbah serbuk dari kayu sengon setelah diproduksi, selama ini limbah dari pengolahan kayu sengon hanya dibakar ataupun dibuang. Kayu sengon mengandung selulosa 52,14%, hemiselulosa 45,35%, lignin 37,31%, kadar air 2,91%, kadar abu 1,26% dan nilai kalor sebesar 3.000 kkal/kg [5].

Kualitas bahan bakar biomassa sengon yang digunakan perlu diketahui karakteristiknya, agar mengetahui kandungan air, zat terbang, kadar abu dan karbon padat yang terdapat didalamnya. Data analisis proximate kayu sengon ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Proximate Kayu Sengon

No	Parameter	Unit	Nilai
1	Moisture content	% wt	8,25
2	Ash content	% wt	76
3	Volatile matter	% wt	82,77
4	Fixed carbon	% wt	16,47

2.2 Kesetimbangan Massa

Kesetimbangan massa merupakan jumlah massa yang masuk kedalam suatu proses akan sama dengan jumlah massa yang keluar. Perubahan dari masukan menjadi keluaran dapat berbentuk lainnya. Materi yang masuk kedalam proses bisa satu jenis ataupun lebih, sama halnya dengan materi yang keluar bisa satu jenis ataupun lebih. Jumlah keluaran akan sama dengan jumlah masukan jika tidak terjadi akumulasi dalam suatu prosesnya atau biasa disebut *steady state process*, namun jika dalam suatu proses mengalami akumulasi maka jumlah keluaran akan lebih besar dari jumlah masukan atau biasa disebut *unsteady state process*. Dengan persamaan kesetimbangan massa sebagai berikut [10]:

$$m_{in} = m_{out} + m_{akumulasi} \quad (1)$$

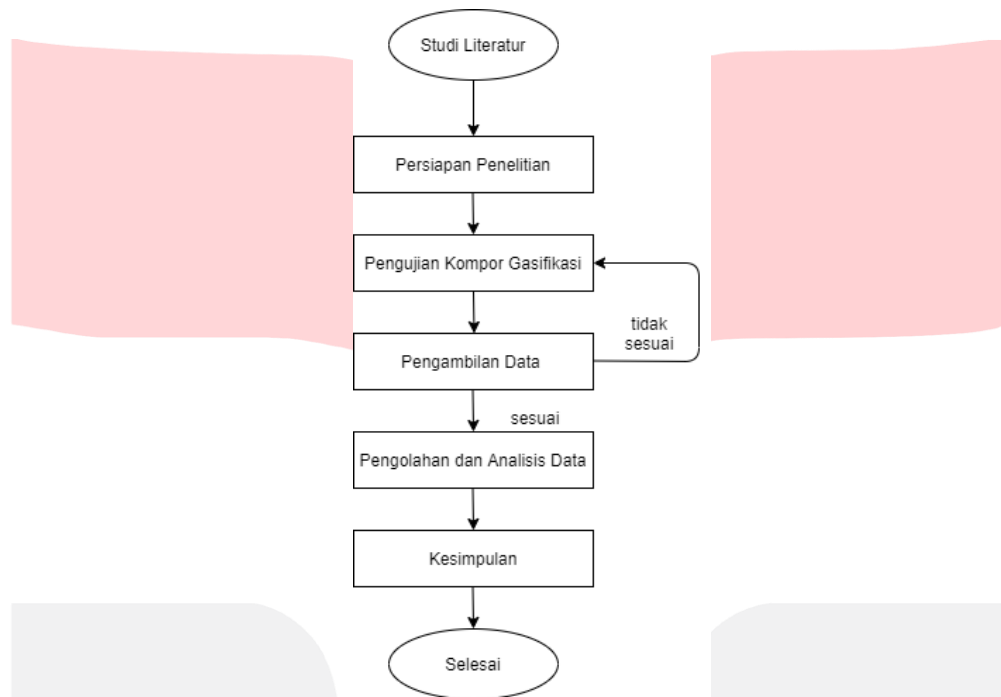
2.3 Metode Pengujian

Standar Nasional Indonesia Kinerja Tungku Biomassa [SNI 7926:2013] digunakan sebagai metode dalam penelitian kali ini. Standar yang ditetapkan dalam metode SNI Tungku Biomassa adalah [9]:

1. Konsumsi Spesifik Bahan Bakar, dinyatakan lulus uji konsumsi bahan bakar maksimum 1 kg/jam.
2. Nilai Efisiensi Pembakaran, dinyatakan lulus uji efisiensi pembakaran bila nilai η_C minimal 0,96 atau rasio $N(CO)/N(CO_2)$ maksimal 0,04.
3. Nilai Efisiensi Termal, dinyatakan lulus uji efisiensi termal jika hasil uji efisiensi memenuhi nilai minimal 20%.
4. Nilai Emisi CO, dinyatakan lulus uji emisi CO bila emisi CO tak melebihi 67 g/kg bahan bakar terkonsumsi.
5. Nilai Emisi PM_{2,5}, dinyatakan lulus uji emisi PM_{2,5} mikron jika nilai emisi PM_{2,5} tak lebih dari 1.500 mg/kg bahan bakar terkonsumsi.

2.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan berbagai rangkaian proses yang ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Proses pertama yang dilakukan yaitu studi literatur, dengan mempelajari jurnal publikasi nasional mengenai biomassa dan kompor gasifikasi. Selanjutnya, merancang kompor gasifikasi tipe updraft, dimana terdapat ruang pembakaran (gasifier) dengan bervariasi jumlah lubang gasifier dan ketinggian gasifier.

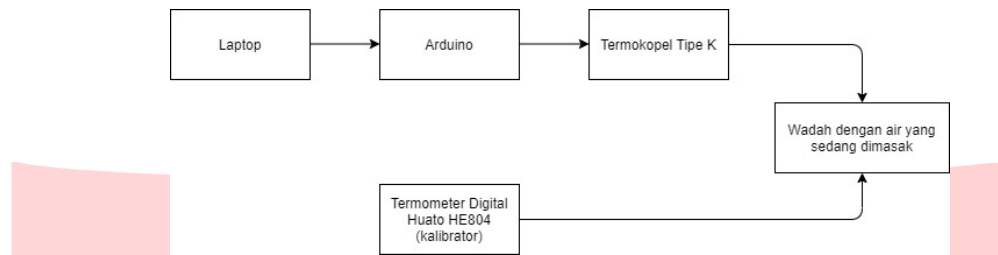
Setelah itu mempersiapkan alat dan bahan penelitian berupa *wood pellet* sekam padi dan kayu sengon, minyak tanah, air dan panci. *Wood pellet* yang sudah disiapkan diberi sedikit minyak tanah sebagai pemantik nyalanya api, lalu panci yang sudah terisi oleh air ditempatkan pada mulut kompor sehingga pengujian kompor gasifikasi dimulai. Setelah itu, analisis data untuk mengetahui pengaruh variasi biomassa dan pola tiupan udara terhadap efisiensi pada kompor gasifikasi tipe updraft.

2.5 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat dua prosedur untuk melakukan penelitian, yaitu kalibrasi sensor termokopel tipe K untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar dan pengujian kompor gasifikasi untuk mendapatkan hasil dari apa yang ingin dicari dari tujuan penelitian.

2.5.1 Kalibrasi Sensor

Sebelum sensor termokopel digunakan sebagai pengukur temperatur pada air, dilakukan kalibrasi terlebih dahulu sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran dari kalibrator (termometer digital Huato HE804) dan sensor termokopel tipe K.



Gambar 2. Proses Kalibrasi Sensor Suhu

Langkah dalam kalibrasi sensor termokopel sebagai berikut:

1. Siapkan laptop, arduino, termokopel tipe K, dan termometer digital Huato HE804 (kalibrator). Hubungkan termokopel dengan arduino dan sambungkan ke laptop.
2. Panaskan air dalam wadah yang ingin diukur, dengan diletakkan termometer digital Huato HE804 dan termokopel.
3. Nilai temperatur yang keluar dari termokopel dan termometer digital Huato HE804 dibandingkan.

2.5.2 Pengujian Kompor Gasifikasi

Dalam pengujian kompor gasifikasi ini menggunakan metode SNI Tungku Biomassa [SNI 7926:2013]. Terdapat beberapa langkah pengujian kompor gasifikasi biomassa.

1. Mengumpulkan alat dan bahan untuk pengujian kompor gasifikasi.
2. Mempersiapkan alat seperti kompor, gasifier, kipas, dan sensor termokopel.
3. Memasukkan bahan bakar ke dalam gasifier, lalu beri minyak tanah untuk pemantik nyala api. Setelah api menyala, letakkan panci berisi air dimulut kompor dan memasukkan sensor termokopel kedalam panci untuk mengukur temperatur pada air.
4. Pengujian kompor gasifikasi menggunakan tiga parameter, yaitu laju konsumsi bahan bakar, persentase char, dan efisiensi termal.

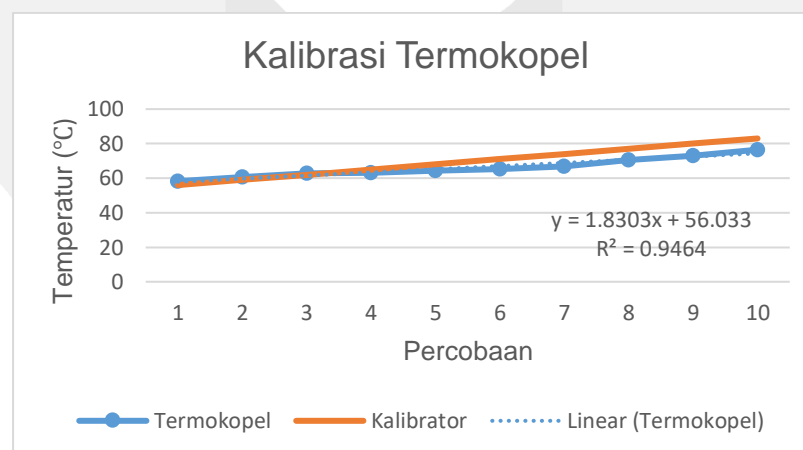
2.5.3 Kestimbangan Massa

Setelah pengujian kompor gasifikasi, maka dilakukan perhitungan dan analisis terhadap kesetimbangan massa yang digunakan. Apakah massa yang digunakan dalam proses pengujian termasuk kedalam *steady state process* atau *unsteady state process*.

3. Pembahasan

3.1. Kalibrasi Sensor Termokopel

Termokopel dilakukan pengecekan dan pengaturan akurasi agar pengukuran suhu oleh sensor termokopel dengan suhu lingkungan yang diukur menggunakan termometer digital Huato HE804 dapat sesuai. Kalibrasi dilakukan dengan rentang suhu 50 – 100 °C dengan kenaikan suhu setiap 3 °C.



Gambar 3. Kurva Kalibrasi Sensor Suhu

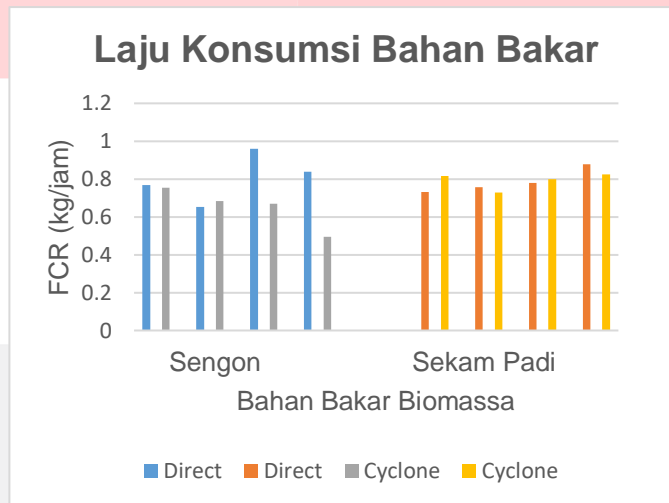
Dari gambar 3 didapatkan hasil kalibrasi sensor termokopel dengan termometer digital Huato HE804, dengan rata-rata perbedaan suhu sebesar 1,16%.

3.2 Hasil Pengujian Kompor Gasifikasi tipe Updraft

3.2.1 Pengaruh Dua Jenis Bahan Bakar Biomassa

a. Laju Konsumsi Bahan Bakar

Pengukuran laju konsumsi bahan bakar memiliki nilai maksimal yaitu 1 kg/jam. Di mana penggunaan 1 kg bahan bakar dapat berlangsung selama 1 jam, sedangkan hasil pengujian didapatkan yaitu dibawah 1 kg/jam. Semakin rendah nilai laju konsumsi bahan bakar maka semakin bagus, karena massa bahan bakar yang digunakan dibawah 1 kg yaitu 0,35 kg, namun dapat digunakan selama 1 jam.

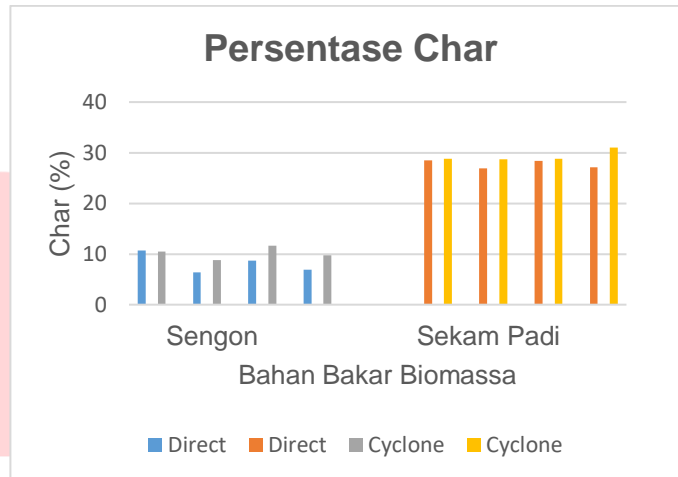


Gambar 4. Grafik Laju Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan gambar 4 diketahui bahwa laju konsumsi bahan bakar terbaik pada bahan bakar biomassa sengon dengan pola tiupan *cyclone* dan tinggi 40 cm dengan lubang 70 sebesar 0,49 kg/jam. Hal ini dikarenakan, kandungan bahan bakar biomassa sengon memiliki nilai kalor dan kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar biomassa sekam padi yaitu sebesar 3.000 kkal/kg dan 2,91%. Serta, didukung dengan pola tiupan *cyclone*, tinggi 40 cm dan lubang 70 membuat distribusi aliran udara secara menyeluruh lalu dihasilkan api yang lebih besar maka akan cepat untuk memanaskan dan mendidihkan air.

b. Persentase Char

Pengukuran persentase *char* mengindikasikan apakah bahan bakar biomassa yang terdapat pada kompor terbakar dengan baik. Apabila nilai persentase *char* yang dihasilkan tinggi maka diasumsikan bahan bakar biomassa tidak terbakar dengan baik. Karena pada proses pirolisis terdapat tiga komponen yang dihasilkan yaitu gas ringan, tar, dan *char*. Ketika nilai persentase *char* tinggi maka diasumsikan nilai yang lain hasilnya rendah. Persentase *char* pada penelitian ini memiliki hasil yang berbeda. Untuk jenis biomassa sengon dengan berbagai variasi memenuhi standar SNI Tungku Biomassa, sedangkan untuk jenis biomassa sekam padi dengan berbagai variasi tidak ada yang memenuhi standar SNI Tungku Biomassa. Standar SNI Tungku Biomassa adalah maksimal 10%. Persentase *char* yang tidak memenuhi standar disebabkan oleh pengoperasian kompor yang singkat menyebabkan tidak sempurnanya pembakaran pada biomassa.

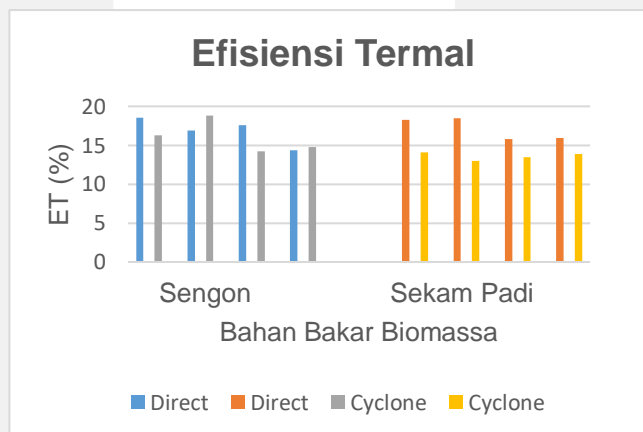


Gambar 5. Grafik Persentase Char

Berdasarkan gambar 5 bahwa persentase *char* terbaik pada bahan bakar biomassa sengon dengan pola tiupan *direct* dan ketinggian 25 cm dengan lubang 70 sebesar 6,37%. Hal ini dikarenakan, nilai kalor dan kadar air bahan bakar biomassa sengon lebih rendah maka pembakaran bahan bakar biomassa lebih cepat dan baik dibandingkan bahan bakar biomassa sekam padi. Serta, pola tiupan *direct* dengan tinggi 25 cm dan lubang 70 mendukung distribusi aliran udara yang dihasilkan mengarah langsung terhadap gasifier dan membakar bahan bakar biomassa dengan baik.

c. Efisiensi Termal

Efisiensi termal bertujuan untuk meninjau nilai kalor yang terjadi pada proses pengujian, di mana efisiensi termal salah satu parameter untuk memenuhi SNI Tungku Biomassa dengan nilai minimum sebesar 20%. Serta nilai yang memengaruhi efisiensi termal adalah kalor sensibel dan kalor laten yang dihasilkan selama pengujian, serta nilai kalor bahan bakar dan massa bahan bakar yang digunakan dengan nilai yang konstan.



Gambar 6. Grafik Efisiensi Termal

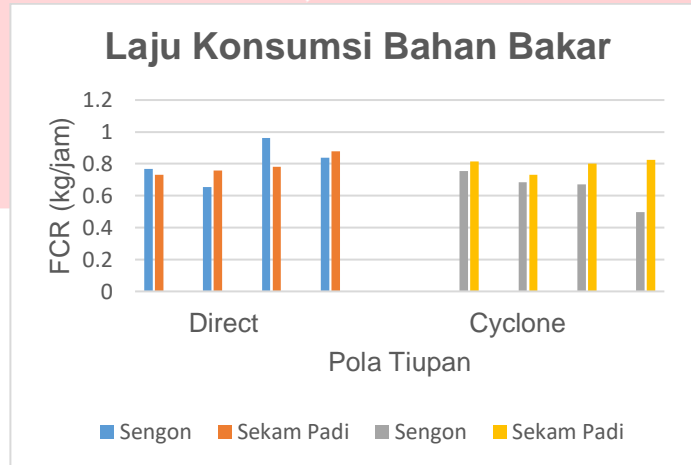
Berdasarkan gambar 6 bahwa efisiensi termal terbaik pada bahan bakar biomassa sengon dengan pola tiupan *cyclone* dan tinggi 25 cm dengan lubang 70 sebesar 18,80%. Hal ini dikarenakan, massa bahan bakar biomassa yang digunakan konstan sebesar 0,35 kg dan memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibanding dengan bahan bakar biomassa sekam padi. Maka, memengaruhi nilai pembagi dari rumus efisiensi termal tersebut. Serta, didukung dengan pola tiupan *cyclone*, tinggi 25 cm dan lubang 70 membuat distribusi aliran udara lebih merata yang menyebabkan massa air menguap lebih banyak dan perubahan temperatur lebih besar. Hal itu membuat nilai kalor sensibel dan kalor laten

lebih besar dan membuat nilai penyebut dari rumus efisiensi termal menjadi lebih besar juga.

3.2.2 Pengaruh Dua Jenis Pola Tiupan Udara

a. Laju Konsumsi Bahan Bakar

Nilai maksimum pengukuran laju konsumsi bahan bakar yaitu 1 kg/jam. Semakin rendah nilai laju konsumsi bahan bakar maka semakin bagus.

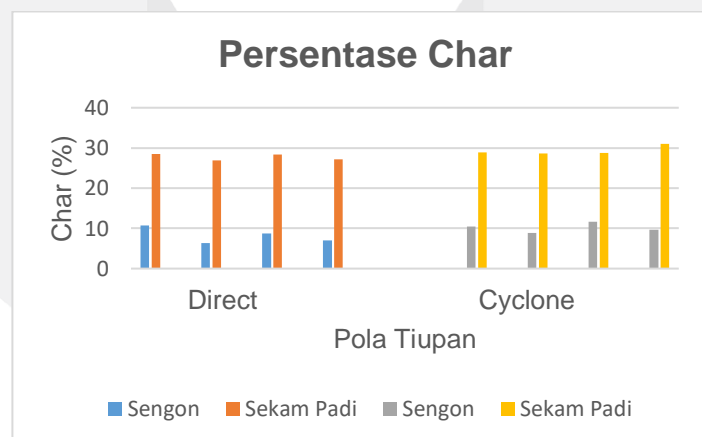


Gambar 7. Grafik Laju Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan gambar 7 diketahui bahwa laju konsumsi bahan bakar terbaik pada pola tiupan *cyclone* dengan bahan bakar biomassa sengon, tinggi 40 cm dan lubang 70 sebesar 0,49 kg/jam. Hal ini dikarenakan, pola tiupan *cyclone* sumber udaranya berasal dari sisi samping kompor, di mana udara memutar dari bagian bawah sampai atas dan udara yang masuk lebih menyeluruh serta rata, sehingga menghasilkan api yang lebih besar dan cepat untuk memanaskan dan mendidihkan air. Serta, didukung dengan kandungan bahan bakar biomassa sengon yang memiliki nilai kalor dan kadar air yang rendah, maka akan cepat untuk memanaskan dan mendidihkan air.

b. Persentase Char

Pengukuran persentase char memiliki nilai maksimum sebesar 10%. Jika nilai persentase char diatas 10% maka dapat diasumsikan bahan bakar biomassa tidak terbakar dengan baik.



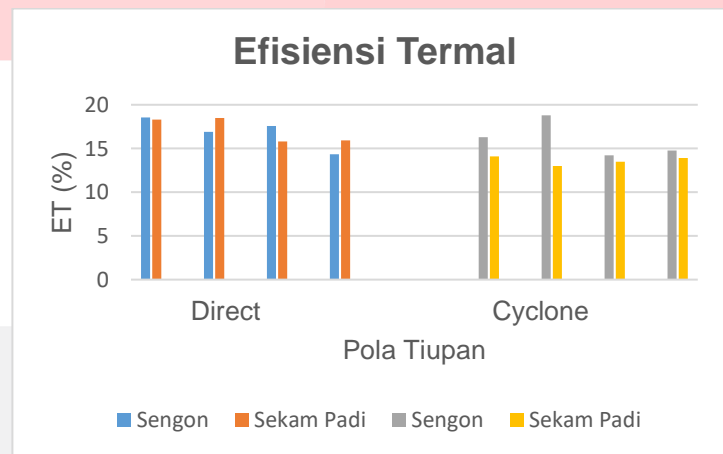
Gambar 8. Grafik Persentase Char

Berdasarkan gambar 4.6 bahwa persentase *char* terbaik pada pola tiupan *direct* dengan bahan bakar biomassa sengon, tinggi 25 cm dengan lubang 70 sebesar 6,37%. Hal ini dikarenakan, pola tiupan *direct* sumber udaranya berasal dari tengah bawah badan

kompor, di mana udara mengarah langsung terhadap gasifier dan membakar bahan bakar biomassa dengan baik. bahan bakar biomassa sengon lebih rendah maka pembakaran bahan bakar biomassa lebih cepat dan baik dibandingkan bahan bakar biomassa sekam padi. Serta, didukung dengan nilai kalor dan kadar air bahan bakar biomassa sengon rendah.

c. Efisiensi Termal

Efisiensi termal bertujuan untuk meninjau nilai kalor yang terjadi pada proses pengujian, di mana efisiensi termal salah satu parameter untuk memenuhi SNI Tungku Biomassa dengan nilai minimum sebesar 20%. Serta nilai yang memengaruhi efisiensi termal adalah kalor sensibel dan kalor laten yang dihasilkan selama pengujian, serta nilai kalor bahan bakar dan massa bahan bakar yang digunakan dengan nilai yang konstan.



Gambar 9. Grafik Efisiensi Termal

Berdasarkan gambar 4.7 bahwa efisiensi termal terbaik pada pola tiupan *cyclone* dengan bahan bakar biomassa sengon, tinggi 25 cm, dan lubang 70 sebesar 18,80%. Hal ini dikarenakan, pola tiupan *cyclone*, tinggi 25 cm dan lubang 70 membuat distribusi aliran udara lebih merata yang menyebabkan massa air menguap lebih banyak dan perubahan temperatur lebih besar. Hal itu membuat nilai kalor sensibel dan kalor laten lebih besar maka membuat nilai dari penyebut rumus efisiensi termal menjadi besar sehingga nilai efisiensi termalnya juga menjadi besar.

3.3 Kesetimbangan Massa

Perhitungan kesetimbangan massa digunakan untuk mengetahui aliran materi yang masuk dan keluar dalam proses pengujian kompor gasifikasi. Berikut tabel kesetimbangan massa pada bahan bakar biomassa sengon dan sekam padi.

- Bahan bakar biomassa sengon

Tabel 3. Kesetimbangan Massa Sengon

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)		
Biomassa	Udara	Syngas	Arangkarbon	Ash
0,35	$6,28 \times 10^{-8}$	0,29	0,03	0,27
Total: 0,350		Total: 0,590		

- Bahan bakar biomassa sekam padi

Tabel 4. Kesetimbangan Massa Sekam Padi

Massa Masuk (kg)		Massa Keluar (kg)		
Biomassa	Udara	Syngas	Arangkarbon	Ash
0,35	$9,6 \times 10^{-8}$	0,26	0,12	0,07
Total: 0,350		Total: 0,390		

Berdasarkan tabel 3 dan 4 menyatakan pada penelitian ini termasuk kedalam *unsteady state process*, bahwa jumlah massa yang keluar lebih besar dari jumlah massa yang masuk namun mendekati

jumlah massa yang masuknya. Hal ini dikarenakan pembakaran yang terjadi menghasilkan massa syngas yang lebih besar sehingga memperbesar jumlah massa yang keluar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Biomassa sengon menghasilkan efisiensi termal terbaik sebesar 18,80%.
2. Pola tiupan *cyclone* menghasilkan efisiensi termal terbaik sebesar 18,80%.

Referensi:

- [1] A. Tajalli, "Panduan Penilaian Potensi Biomassa sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia," 2015.
- [2] M. H. Syukur, "Penggunaan Liquefied Petroleum Gases (LPG): Upaya Mengurangi Kecelakaan Akibat LPG," 2011.
- [3] B. P. Statistik, "Area Produksi, Produktivitas dan Produksi Padi di Indonesia," 2018.
- [4] B. Sudarmanta, "Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Sekam Padi Menggunakan Reaktor Downdraft dengan Dua Tingkat Lajuan Udara," p. 6, 2009.
- [5] C. F. Prasetiani, PENGARUH JENIS BIOMASSA DAN KECEPATAN ALIRAN UDARA TERHADAP KINERJA KOMPOR GASIFIKASI, Bandung: Telkom University, 2019.
- [6] A. C. T. S. D. D. S. L. G. Deded S Nawawi*, "Karakteristik Kimia Biomassa untuk Energi," vol. 16, p. 8, 2018.
- [7] I. Prof. Dr. Herri Susanto, PENGEMBANGAN TEKNOLOGI GASIFIKASI UNTUK MENDUKUNG KEMANDIRIAN ENERGI DAN INDUSTRI, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2018.
- [8] R. Anggara, PENGARUH JUMLAH LUBANG UDARA PADA TUNGKU PEMBAKARAN SERTA VARIASI KECEPATAN ALIRAN UDARA TERHADAP KINERJA KOMPOR GASIFIKASI DENGAN BAHAN BAKAR PELET KAYU JATI, Bandung: Telkom University, 2019.
- [9] B. S. Nasional, KINERJA TUNGKU BIOMASSA, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2013, p. 10.
- [10] S. Ariyanti Hartari, "Satuan, Dimensi,," p. 21.
- [11] A. Rahmah, "Perpindahan Panas (Kalor) – Pengertian, Macam, Rumus, Contoh Soal," Rumus.co.id, 15 Desember 2019. [Online]. Available: <https://rumus.co.id/perpindahan-panas-kalor/>. [Accessed 20 Januari 2021].
- [12] F. Rahmadani, PENGARUH VARIASI AIR FUEL RATIO TERHADAP KINERJA KOMPOR GASIFIKASI TIPE DOWNDRAFT, Bandung: Telkom University, 2020.
- [13] E. Suhendi, "PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA DAN UKURAN LIMBAH BATANG DAUN TEMBAKAU TERHADAP SYNGAS MENGGUNAKAN REAKTOR GASIFIKASI UPDRAFT," p. 74, 2016.
- [14] D. Damanik, "KINERJA KOMPOR GASIFIKASI TURBO STOVE," 2012.
- [15] P. B. P. a. J. C. Abineno, "Gasification of Oil Palm Empty Fruit Bunches (Efb) Using Updraft Gasifier at Different Air Flow Rates and Materials Pressures," 2017.
- [16] I. M. F. M. P. RUSDANIYAR, "OPTIMALISASI EFISIENSI KOMPOR GASIFIKASI BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI DAN SERBUK GERGAJI DENGAN SISTEM UMPAN KONTINYU," 2013.
- [17] I. Imaduddin, "Pengujian Kompor Gasifikasi Biomassa dengan Tiga Jenis Bahan Bakar," vol. 5 No.1, 2013.
- [18] M. Athar, "PENGARUH KETINGGIAN LUBANG UDARA PADA TUNGKU PEMBAKARAN BIOMASSA TERHADAP UNJUK KERJANYA," 2015.

- [19] M. N. Fajriansyah, "PENGARUH JUMLAH LUBANG UDARA PRIMER KOMPOR KAYU BIOMASSA MENGGUNAKAN METODE RSM," 2017.
- [20] S. M. Rifki Arya Wiguna dan Wijianto, "Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara Primer dan Penambahan Udara Pada Reaktor Kompiler Gasifikasi Sekam Padi Metode Top-Lit Up Draft Dengan Perbedaan Diameter Silinder Reaktor," 2017.

