

Pengaruh Rasio Agen CO₂ Terhadap Hasil Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Pada Proses Gasifikasi Menggunakan *Furnace* Berdasarkan Analisis Kualitatif

F. Hafizh Dinata, Nesha Tri Asifha, Yuono

Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: yuono@itenas.ac.id

Received DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

ABSTRAK

Kelapa banyak ditanam di Indonesia karena Indonesia merupakan negara beriklim tropis. Tempurung kelapa umumnya masih dimanfaatkan secara tradisional dengan metode pengarangan. Tempurung kelapa dapat dimanfaatkan dengan metode gasifikasi, yang dapat menghasilkan suatu energi yang memiliki nilai jual lebih. Metode gasifikasi pada tempurung kelapa dapat menghasilkan *producer gas* yang dimanfaatkan sebagai energi alternatif dan bahan baku proses. Penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh rasio CO₂ sebagai agen gasifikasi terhadap kualitas dan kuantitas *producer gas* yang dihasilkan. Bahan baku dilakukan analisis ultimat dan proksimat untuk mengetahui kandungan *moisture*, *ash*, *fixed carbon* dan *volatile matter*, serta kandungan unsur kimia seperti C, H dan N. Proses gasifikasi dilakukan dalam *furnace* dengan tahap pengeringan dengan temperatur 70°C selama 30 menit, tahap pirolisis dengan temperatur 500°C selama 30 menit, dan tahap gasifikasi dengan temperatur 800°C selama 20 menit. Agen gasifikasi CO₂ dimasukan dengan rasio sebesar 95%. Rasio yang digunakan pada 95% temperatur 800°C. *Producer gas* yang dihasilkan dengan warna api jingga, tinggi api 16 cm dan lama nyala api 67 detik.

Kata kunci: Biomassa, Tempurung Kelapa, Gasifikasi, Agen CO₂

ABSTRACT

Coconuts are widely grown in Indonesia because Indonesia is a tropical country. Coconut shells are generally still used traditionally by the authoring method. Coconut shells can be utilized by the gasification method, which can produce an energy that has more selling value. The gasification method in coconut shells can produce gas producers that are used as alternative energy and process raw materials. Research was conducted to identify the effect of the ratio of CO₂ as a gasification agent on the quality and quantity of the gas producer produced. Raw materials were carried out ultimate and proximate analysis to determine the content of moisture, ash, fixed carbon and volatile matter, as well as the content of chemical elements such as C, H and N. Gasification process was carried out in a furnace with a drying stage with a temperature of 70°C for 30 minutes, a pyrolysis stage with a temperature of 500°C for 30 minutes, and a gasification stage with a temperature of 800°C for 20 minutes. CO₂ gasification agents are entered at a ratio of 95%. Ratio used at 95% temperature 800°C. producer gas produced with orange flame color,

Hafizh

fire height 16 cm and flame duration 67 s.

Keywords: *Biomass, Coconut Shell, Gasification, CO₂ Agent*

Pengaruh Rasio Agen CO₂ Terhadap Biomassa

Tempurung Kelapa Pada Proses Gasifikasi

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil masih mendominasi sebagai sumber energi di dunia, karena menurut *Global Energy Statistical* penggunaan konsumsi bahan bakar fosil pada tahun 2018 mencapai 81%. Jika bahan bakar fosil semakin digunakan maka ketersediaannya akan terus berkurang, hal ini dikarenakan bahan bakar fosil yang bersumber dari jasad renik yang tidak dapat diperbaharui. Selain tidak dapat diperbaharui lagi, penggunaan bahan bakar fosil juga dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan, contohnya adalah efek rumah kaca.

Salah satu sumber energi alternatif dan berkelanjutan yang dapat digunakan yaitu biomassa, dimana hasil produknya dapat dijadikan bahan bakar. Biomassa sebagai sumber energi terbarukan, pengganti bahan bakar fosil yang merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Terdapat beberapa sumber biomassa yang dapat digunakan dari hasil bahan pangan yang menghasilkan limbah dan memiliki kandungan energi panas seperti tempurung kelapa. Tempurung kelapa dapat dilakukan pengolahan untuk dijadikan sebagai sumber energi alternatif, dengan metode gasifikasi.

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat atau cair menjadi bahan bakar gas dengan metode termokimia. Produk gasifikasi akan menghasilkan suatu *producer gas* dimana *producer gas* yang dihasilkan dapat dimurnikan dan menghasilkan *syngas*. Proses gasifikasi akan dilakukan dalam reaktor berupa *furnace* dengan menggunakan gas CO₂ sebagai agen gasifikasi. Penggunaan gas CO₂ sebagai agen yaitu untuk meningkatkan kandungan CO yang berpengaruh pada *producer gas*, sehingga *producer gas* yang dihasilkan akan meningkat.

Dengan digunakannya biomassa tempurung kelapa untuk metode gasifikasi, maka diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk permasalahan menipisnya sumber energi. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh agen gasifikasi untuk menghasilkan *producer gas*. *Producer gas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi nantinya akan dilakukan metode pemurnian untuk mendapatkan *syngas*. Hasil *syngas* diketahui dengan uji nyala berdasarkan warna api, tinggi api dan lama nyala api.

1.1 Biomassa

Biomassa merupakan sumber energi baru yang berkelanjutan, yang memiliki potensi sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui. Biomassa dapat dikatakan sebagai energi yang akan terus terbentuk dan berkelanjutan. Terbentuknya biomassa dilakukan dengan adanya interaksi antara CO₂, udara, air, tanah dan sinar matahari dengan dekomposisi hewan atau tumbuhan. Biomassa digunakan untuk menjadi salah satu sumber energi terbarukan pengganti bahan bakar fosil.

1.2 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa adalah salah satu sumber energi alternatif dengan jumlah melimpah. Hal ini disebutkan menurut Maritje dalam EBTKE (2012) yang menjelaskan bahwa potensi kalori pada tempurung kelapa sebesar 18,7 juta GJ/tahun dari potensi produksi tempurung dan serabut pada kelapa yang sebesar 3,1 juta/tahun. Pemakaian tempurung kelapa dapat meningkatkan nilai guna material yang sudah menjadi limbah atau produk samping. Menurut hasil pembahasan yang dikutip berdasarkan suatu penelitian (Fajri Vidian, 2008), Indonesia umumnya menghasilkan 1,1 juta ton/tahun tempurung dengan kemungkinan dapat menghasilkan energi sebesar $18,7 \times 10^6$ GJ/tahun. Pembakaran pada tempurung kelapa akan menghasilkan energi panas dan abu. Sedangkan pembakaran tidak sempurna pada tempurung kelapa akan menghasilkan gas mampu bakar, cairan mampu bakar, arang, tar dan abu. Salah

satu proses untuk menghasilkan energi yaitu dengan proses termokimia. Pada proses termokimia biomassa dapat digolongkan menjadi 3 proses yaitu pengeringan, pirolisis dan gasifikasi.

1.3 Analisa Kandungan Tempurung Kelapa

Terdapat dua metode untuk menganalisis tempurung kelapa, yaitu dengan cara analisis ultimat dan analisis proksimat. Penentuan kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S) yang terdapat dalam biomassa merupakan analisis ultimat. Analisis ultimat dilakukan agar penentuan reaksi yang terjadi dan penghitungan neraca panas (*heat balance*) lebih mudah (Fajri Vidian, 2008). Hasil analisis ultimat dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Analisa Ultimat} = C + H + O + N + S + \text{Abu} + M = 100\% \quad (\text{Pers.1})$$

Analisis proksimat menentukan persen berat dari *fixed carbon*, *volatile matter*, *ash* dan *moisture content* di dalam suatu biomassa. Banyaknya jumlah *fixed carbon* dan bahan mudah menguap akan mempengaruhi nilai panas yang dihasilkan.

$$\text{Analisis Proksimat} = VM + FC + ASH + M = 100\% \quad (\text{Pers.2})$$

1.4 Gasifikasi

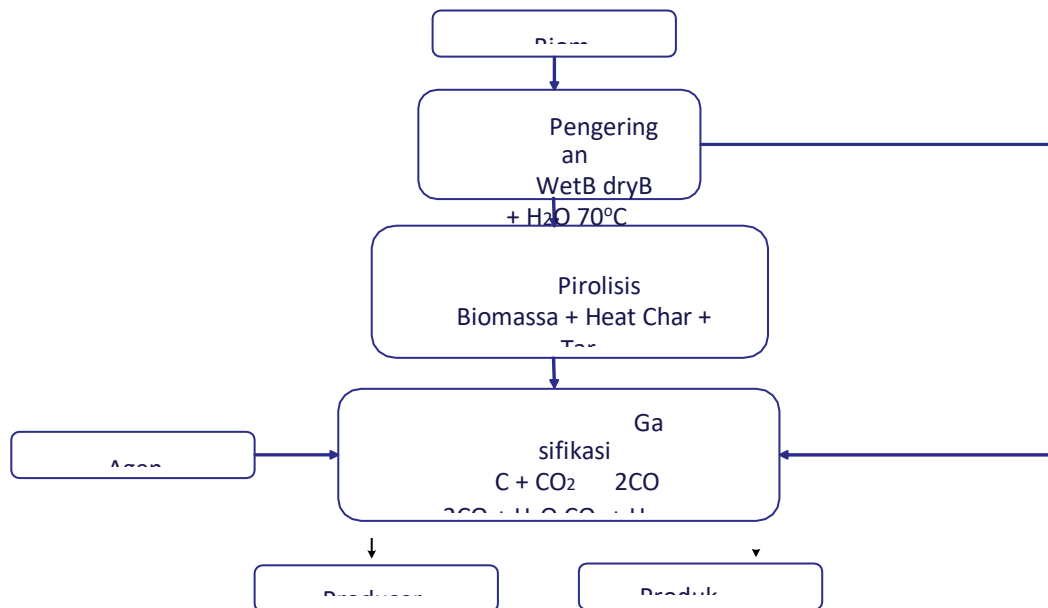
Gasifikasi merupakan suatu proses untuk mengubah karbon dalam biomassa menjadi bahan bakar gas dari suatu biomassa, dengan menggunakan temperatur tinggi. Terjadinya proses gasifikasi dikarenakan adanya sejumlah agen yang masuk, sehingga akan menghasilkan produk gas mampu bakar (CO , H_2 dan CH_4). Emisi gas yang keluar berupa CO_2 dan NO_x , serta bahan padatan (*char* atau arang), bahan cair dan abu. Pada proses gasifikasi akan terjadi proses pembakaran yang menghasilkan reaksi pembakaran yang tidak sempurna. Proses gasifikasi dilakukan dalam reaktor menggunakan pemanas *furnace*.

Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahap diantaranya pengeringan, pirolisis dan gasifikasi. Pemanasan awal akan berpengaruh untuk menaikkan efisiensi pada proses gasifikasi. Selain itu, tidak ada reaksi kimia yang terjadi melainkan hanya menguapkan kandungan air. Pada tahap pirolisis akan dihasilkan arang akibat adanya dekomposisi termal dari bahan mudah menguap. Agen gasifikasi yang digunakan pada tahap gasifikasi jumlahnya dikondisikan untuk mereaksikan produk arang yang berasal dari proses pirolisis hingga menghasilkan *producer gas*.

Pada proses gasifikasi terdapat beberapa proses seperti pada **Gambar 1**. Tahapan pertama yaitu proses pengeringan dengan temperatur 70°C , pirolisis 500°C dan gasifikasi 800°C . Ketika proses gasifikasi diberikan agen gasifikasi berupa CO_2 , yang memiliki berfungsi sebagai salah satu kondimen yang ditambahkan untuk membantu pada proses reaksi. Pada proses gasifikasi akan menghasilkan produk utama dan produk samping, produk utama berupa *producer gas* dan produk samping berupa tar, residu dan *ash*. *Producer gas* yang dihasilkan didominasi oleh gas CO , H_2 , CO_2 , CH_4 .

Pengaruh Rasio Agen CO₂ Terhadap Biomassa

Tempurung Kelapa Pada Proses Gasifikasi



Gambar 1. Tahap gasifikasi

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Menyiapkan tempurung kelapa sebagai biomassa ditempat yang telah ditentukan. Mengurangi kadar air dalam biomassa dengan proses pengeringan menggunakan oven. Proses pengeringan dilakukan pada temperatur 70°C selama 5 jam hingga diperoleh data penimbangan konstan setiap 1 jam penimbangan. Bahan yang digunakan adalah tempurung kelapa yang diambil dari Desa Cibiru Wetan. Tempurung kelapa dilakukan analisis proksimat dan ultimat di laboratorium PUSLITBANG tekMIRA Bandung.

2.2 Metode

Gasifikasi dilakukan dengan rasio Agen CO₂ 80%, 85%, 90%, 95% dan 100%. Temperatur gasifikasi dibuat tetap 800°C. Gasifikasi dilakukan menggunakan *furnace*, dengan tahap pengeringan (70°C) selama 30 menit, pirolisis (500°C) 30 menit, dan gasifikasi (800°C) 20 menit. Data yang diambil adalah massa residu, waktu nyala api, tinggi nyala api, warna api dan sampel *producer gas*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Biomassa Tempurung Kelapa

Kandungan dari suatu tempurung kelapa dapat diketahui dengan analisis proksimat dan ultimat. Analisis proksimat bertujuan untuk mengetahui komposisi % berat dari *fixed carbon*, *volatile matter*, *ash* dan *moisture content* di dalam suatu biomassa. Sedangkan analisis ultimat untuk mengetahui kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Berikut hasil analisis proksimat dan ultimat pada biomassa tempurung kelapa yang digunakan.

Tabel 1. Analisis Proksimat dan Ultimat Tempurung Kelapa

Kriteria	% Massa
Analisis Proksimat (<i>Air Dry basis</i>)	
<i>Volatile matter</i>	69,18%
<i>Fixed carbon</i>	18,77%
<i>Ash</i>	0,28%
<i>Moisture in air dried</i>	11,77%
Analisis Ultimat (<i>Air Dry basis</i>)	
Karbon	46,53%
Hidrogen	6,34%
Nitrogen	0,15%
Sulfur	0,00%
Oksigen	34,93%

Dari **Tabel 1** terdapat analisis proksimat yang menyatakan bagaimana tempurung kelapa terbakar. Kandungan *moisture in air dried* untuk tempurung kelapa sebesar 11,77%, kandungan *moisture* merupakan banyaknya kandungan air dalam biomassa, yang lebih cenderung pada kandungan air tidak terikat. Adapun kandungan *volatile matter* sebesar 69,18%, Nilai *volatile matter* menunjukkan kandungan bahan yang mudah menguap selama proses pengeringan dan pirolisis. Kandungan *ash* dalam biomassa menunjukkan salah satu bagian pada residu yang tersisa setelah proses pembakaran sebesar 0,28%. Kandungan *fixed carbon* pada tempurung kelapa sebesar 18,77%, *fixed carbon* merupakan karbon yang tersisa setelah proses pemanasan, ketika kandungan *volatile matter* menguap.

Analisis ultimat pada **Tabel 1** menyatakan besarnya kandungan unsur karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur dan oksigen tanpa abu dan air. Kandungan C pada tempurung kelapa yang digunakan sebesar 46,53%. Kandungan karbon pada analisis ultimat menunjukkan banyaknya jumlah karbon dalam biomassa, berupa padatan karbon maupun gas. Banyaknya kandungan karbon dalam biomassa akan mempengaruhi pada energi yang dihasilkan.

3.2 Pengaruh Rasio CO₂ terhadap *Producer Gas*

Laju alir CO₂ yang digunakan dengan rasio sebesar 80%, 85%, 90%, 95%, 100%.

Tabel 2. Rasio CO₂ Terhadap *Producer Gas*

RUN	Rasio	Uji Nyala (s)	Parameter		
			Error	Warna Api	Tinggi api (cm)
R1	100%	20	0%	Jingga	16
R2		20		Jingga	16
R3	95%	55	19,67%	Jingga	16
R4		67		Jingga	16
R5	90%	48	6,06%	Jingga-biru	10
R6		51		Jingga-biru	10
R7	85%	20	18,18%	Biru-jingga	10
R8		24		Biru-jingga	11
R9	80%	24	13,33%	Biru	10
R10		21		Biru	10

Penggunaan perbandingan CO₂ dilakukan untuk mengetahui rasio yang dapat menghasilkan *syngas* dengan lebih baik. Rasio yang digunakan merupakan perbandingan antara CO₂ yang diumpankan, berbanding dengan kandungan karbon dalam biomassa. Pada **Tabel 2** ditampilkan data rasio CO₂ terhadap *producer gas*, dimana berdasarkan data tersebut menunjukkan uji nyala pada R4 memiliki waktu yang lebih lama 67 detik. Pada rasio 100% dan

Pengaruh Rasio Agen CO₂ Terhadap Biomassa

Temperatur Kelapa Pada Proses Gasifikasi

95% memiliki tinggi api lebih lebih panjang 16 cm. Hal ini terjadi karena semakin besar laju yang dimasukan selama proses gasifikasi, maka semakin banyak kemungkinan *producer gas* yang terbentuk. Sehingga menghasilkan tinggi api dan waktu nyala yang lebih banyak.

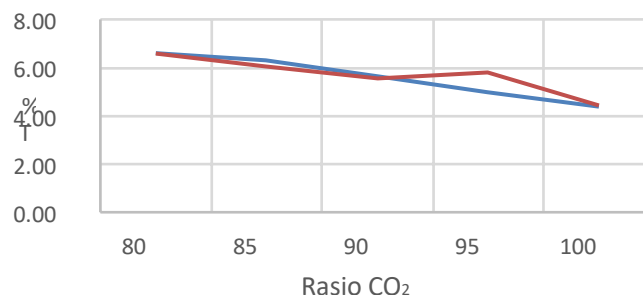


Gambar 2. Nyala Api Pada Proses Gasifikasi

Berdasarkan **Gambar 2** menunjukkan nyala api yang dihasilkan ketika tahap gasifikasi dilakukan. Warna dari api menunjukkan temperatur dan kandungan di dalam gas tersebut. Warna yang dihasilkan menunjukkan bahwa nyala api cenderung mengandung CO dibandingkan H₂. Banyaknya CO₂ yang diumpankan akan memaksimalkan karbon terkonversi menjadi CO. Begitupun sebaliknya jika CO₂ yang diumpankan lebih sedikit, maka kemampuan CO₂ untuk mengubah C menjadi CO menjadi lebih kecil. Sehingga hal ini berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan.

3.3 Pengaruh Rasio CO₂ terhadap Produk Samping

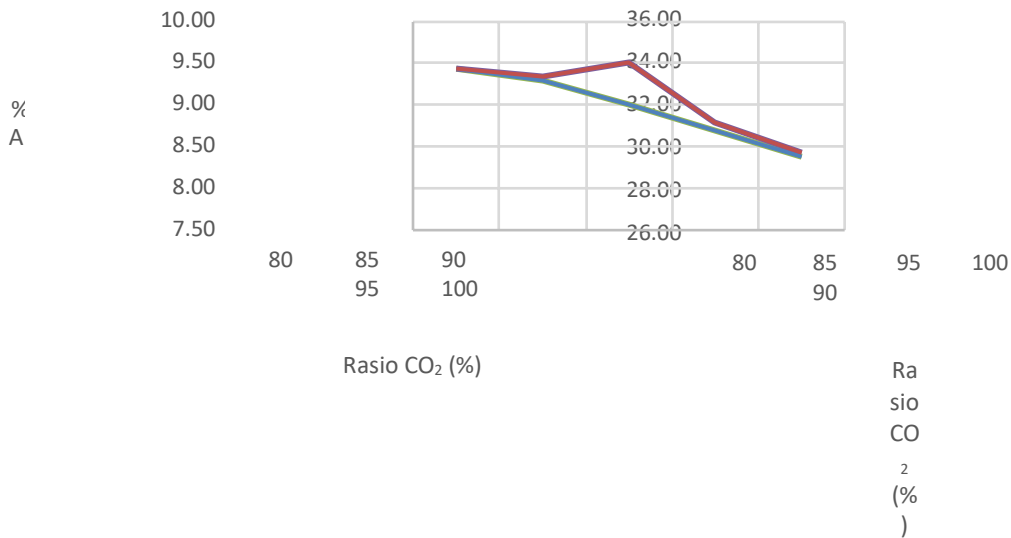
Produk samping yang dihasilkan yaitu tar (cair) dan residu (padat) yang mengandung *ash*. Tar terbentuk pada temperatur pengeringan dan pirolisis, yang kemudian berevaporasi dalam bentuk gas. Sedangkan residu merupakan sisa tempurung kelapa yang tidak terbakar selama proses gasifikasi. Berikut merupakan **Gambar 3** menunjukkan pengaruh rasio CO₂ terhadap tar.



Gambar 3. Pengaruh Rasio CO₂ Terhadap Tar

Jika dilihat dari kandungan % tar pada **Gambar 3**, ketika rasio yang dimasukan dalam proses gasifikasi semakin besar maka % tar yang terbentuk akan semakin kecil. Terjadinya penurunan

% tar terhadap rasio dikarenakan, jika semakin besar CO₂ yang diumpankan maka pembentukan tar akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan Menurut (Lee J, *et all* 2017) gas CO₂ dapat mengurangi hasil tar dengan mempercepat peroksidasi termal *volatile organic carbon*.



Gambar 4. Rasio CO₂ Terhadap % Ash

Gambar 5. Rasio CO₂ Terhadap % Residu

Kandungan *ash* pada tempurung kelapa menunjukkan banyaknya tempurung kelapa yang tidak ikut terbakar selama proses gasifikasi. Kandungan *ash* dalam tempurung kelapa tidak akan mengalami perubahan massa, dimulai pada proses pengeringan hingga proses gasifikasi. Namun % *ash* yang didapatkan dipengaruhi oleh massa residu yang didapatkan setelah proses gasifikasi. Jika dilihat pada **Gambar 4** menunjukkan penurunan pada % *ash* terhadap rasio CO₂. Terjadinya penurunan dikarenakan pada setiap rasio 80% - 100% memiliki massa residu yang semakin rendah, sehingga menghasilkan % *ash* yang lebih menurun.

Pada **Gambar 5** menunjukkan adanya penurunan % residu terhadap rasio CO₂. Hal ini dikarenakan semakin banyak CO₂ yang diumpangkan pada proses gasifikasi maka semakin banyak kandungan C dalam biomassa terkonversi menjadi CO. Adanya kandungan residu menunjukkan adanya biomassa yang tidak bereaksi selama proses gasifikasi.

3.4 Pengaruh Variasi Temperatur terhadap *Producer Gas*

Setelah dilakukan rasio gas CO₂ yang dimasukkan, dimana rasio yang terbaik berada pada 95%. Maka dilakukan pada variasi temperatur, untuk mengetahui temperatur yang dapat menghasilkan *producer gas* dengan lebih baik. Variasi digunakan pada temperatur 700°C dan 900°C. Pada **Tabel 3** menunjukkan data yang dihasilkan dari variasi temperatur yang digunakan.

Tabel 3. Variasi Temperatur Terhadap Uji Nyala

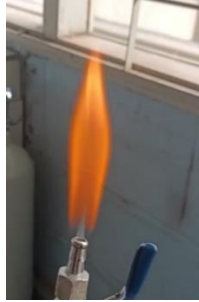
RUN	Temperatur	Parameter			
		Uji Nyala (s)	Error	Warna Api	Tinggi api (cm)
R11	700°C	5	0%	Jingga	9
R12		5		Jingga	9
R3	800°C	55	19,67%	Jingga	16
R4		67		Jingga	16
R13	900°C	17	12,5%	Jingga	27
R14		15		Jingga	26

Berdasarkan **Tabel 3** menunjukkan ketika temperatur yang digunakan semakin tinggi maka tinggi api yang dihasilkan semakin tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada temperatur 900 °C memiliki tinggi 27 cm. Lamanya api yang terbentuk mengindikasikan bahwa *producer gas*

Pengaruh Rasio Agen CO₂ Terhadap Biomassa

Temperatur Kalsium Pada Proses Gasifikasi

yang terbentuk semakin banyak. Banyaknya *producer gas* yang terbentuk pada temperatur 800°C dikarenakan, temperatur yang digunakan sudah optimal untuk menghasilkan *producer gas* dengan lebih baik.

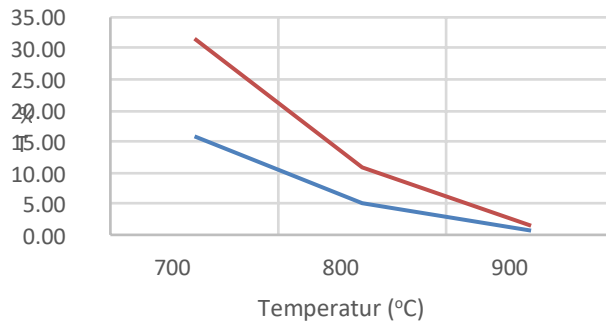


Gambar 6. Nyala Api (700°C) **Gambar 7.** Nyala Api (800°C) **Gambar 8.** Nyala Api (900°C)

Berdasarkan gambar yang dihasilkan dari setiap temperatur yang digunakan, memberikan hasil nyala api yang berbeda. Jika diurutkan dari jelasnya warna api pada temperatur 900°C warna yang lebih jelas dibandingkan 800°C dan 700°C. Hal ini dikarenakan pada temperatur 700°C kandungan C dalam biomassa belum seluruhnya bereaksi membentuk *syngas*, sehingga nyala api yang dihasilkan lebih kecil. Berbeda dengan temperatur 800°C dan 900°C yang telah mencapai temperatur optimum untuk menghasilkan *syngas*.

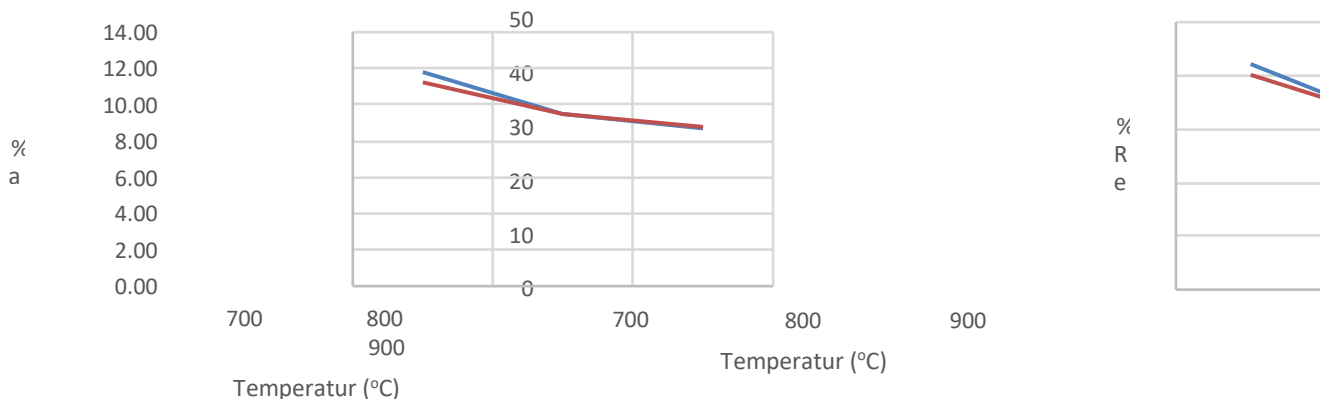
3.5 Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Produk Samping

Penggunaan variasi temperatur digunakan untuk mengetahui temperatur optimal pada proses gasifikasi yang dapat menghasilkan *producer gas* yang bersih (tidak mengandung tar). Produk samping yang dihasilkan berupa tar, residu dan *ash*. Berikut merupakan grafik pengaruh temperatur terhadap % Tar.



Gambar 9. Pengaruh Rasio CO₂ Terhadap Tar

Berdasarkan **Gambar 9**, menunjukkan grafik penurunan % tar pada temperatur 700°C hingga 900°C. Penurunan % tar variasi temperatur terjadi karena temperatur berpengaruh pada jumlah tar yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena terjadinya perekahan termal pada temperatur diatas 700°C.



Pengaruh Rasio Agen CO₂ Terhadap Biomassa

Temperatur Kelapa Pada Proses Composting

Gambar 10. Temperatur Terhadap % Ash

Gambar 11. Temperatur Terhadap % Residu

Berdasarkan **Gambar 10**, menunjukkan adanya kenaikan % *ash* dan penurunan % residu terhadap variasi temperatur. Jika dilihat pada variasi temperatur, ketika temperatur semakin rendah maka residu yang dihasilkan semakin banyak, sehingga % *ash* semakin rendah. Hal ini dikarenakan banyaknya % *ash* dipengaruhi oleh massa residu yang didapatkan. Berdasarkan **Gambar 11**, menunjukkan adanya penurunan terhadap % residu yang dihasilkan Hal ini disebabkan karena residu merupakan sisa biomassa yang tidak ikut terbakar selama proses pembakaran. Banyaknya residu ini dikarenakan temperatur yang digunakan belum mencapai temperatur optimal, yang dapat dipakai untuk menghasilkan *producer gas* yang lebih baik. Sehingga memberikan nilai residu yang lebih besar dan *producer gas* yang lebih kecil.

4. KESIMPULAN

Penelitian gasifikasi dilakukan menggunakan tempurung kelapa dengan *furnace* menggunakan CO₂ sebagai agen gasifikasi pada rasio 80%, 85%, 90%, 95% dan 100%. Berdasarkan hasil analisis ultimat didapatkan kandungan C 47,59%;H 6,34%;N 0,15%;O 34,93%. Sedangkan analisis proksimat ultimat dengan kandungan *moisture* sebesar 11,77%, *ash* 0,28%, *volatile matter* 69,18% dan *fixed carbon* 18,77%. Kandungan C dalam biomassa dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar. *Producer gas* terbaik dihasilkan pada rasio 95% dengan temperatur 800°C, dengan tinggi api yang dihasilkan 16 cm, serta lamanya nyala api 67 detik. Semakin tinggi temperatur yang digunakan maka tar dan residu yang dihasilkan semakin sedikit. Semakin tinggi dan lama nyala api yang dihasilkan lebih tinggi menunjukkan kualitas *producer gas* yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwan, H. (2019): Model Gasifikasi Biomassa menggunakan Pendekatan Keseimbangan Termodinamika Stoikiometris dalam Memprediksi Gas Produser, *Jurnal Integrasi Proses*, 8(1), 31–38.
- Azhari, Riza. 2008. Perancangan dan Pembuatan Reaktor Gasifikasi dengan Bahan Bakar Biomassa. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Basu, Prabir. 2010. Biomass Gasification and Pirolisis Practical Design and Theory. UK: Elsevier Culp, Archie W. 1996. Prinsip-Prinsip Konversi Energi. Jakarta: Erlangga
- Darma, I. Wayan Arya, I. Nyoman Suprpta Winaya, and I. Ketut Gede Wirawan. "Studi Pengaruh Temperatur Reaktor Gasifikasi Terhadap Fuel Conversion Rate Gasifikasi Dual Reaktor Fluidized Bed." *Jurnal Mettek: Jurnal Ilmiah Nasional dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin* 4.2 (2018): 37-42.
- Djafar, R., dan Darise, F. (2018): Pengaruh Jumlah Aliran Udara Terhadap Nyala Api Efektif Dari Reaktor Gasifikasi Biomassa Tipe Fixed Bed Downdraft Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung., *Jurnal Technopreneur*, 6(2), 94–100.
- Fisafarani, H. (2010): Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio -Pellet di Indonesia, Universitas Indonesia, Depok (in Bahasa).
- Hudaya, Chairul. "Simulasi dan pemodelan kapasitas pembangkit listrik sistem gasifikasi berbahan bakar tandan kosong kelapa sawit dengan pendekatan numerik", skripsi program sarjana bidang ilmu teknik Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 2004
- Iqbaldin, Moh. 2012. Properties of Coconut Shell Activated Karbon. Forest Research Institute. Malaysia
- J. Pecho, T.J. Schildhauer, M. Sturzenegger, S. Biollaz dan A. Wokaun. Reactive Bed Materials for Improved Biomass Gasification in Acirculating Fluidised Bed Reaktor. (12 Februari 2008)

Pengaruh Rasio Agen CO₂ Terhadap Biomassa

Tesis yang Keluar Pada Jurusan Gasifikasi

- Kumar, Ajay, David D. Jones, dan Milford A. Hanna. 2009. Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology. www.mdpi.com/journal/energies, diakses pada tanggal 14 Juni 2017).
- McKendry, P. 2002. *Energy production from biomass (part 3): gasification technologies*. Bioresource technology. Vol. 83:55-63.
- Pamungkas, Nurman Adhi, S. T. Nur Aklis, and M. Eng. *Pengaruh Komposisi Biomassa Serbuk Kayu Dan Batu Bara Terhadap Performa Co-Gasifikasi Reaktor Bubbling Fluidized Bed Gasifier*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- Parinduri, Luthfi, and Taufik Parinduri - "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan." *JET (Journal of Electrical Technology)* 5.2 (2020): 88-92.
- Riansyah, D., Heru Sutjahjo, D. 2019. Pengaruh Perbandingan Air Fuel Ratio (AFR) Pada Gasifier Terhadap Kuantitas Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Biomassa Cangkang Sawit. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2)
- Ridwan, A., dan Istana, B. (2018): Analisis Pengaruh Perbandingan Bahan Bakar Biomassa terhadap Mampu Nyala dan Kandungan Tar pada Reaktor Gasifikasi Tipe Updraft, *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 2(1), 7–17.
- Rinovianto, Guswendar. 2012. "Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Karet", skripsi program sarjana bidang ilmu teknik, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok.
- Susanto, Herri. 2014. *Neraca Massa dan Energi Dalam Rangkaian Sistem Pemrosesan Kimia*. Institut Teknologi Bandung: Bandung
- Susanto, Herri. 2016. *Sistem Utilitas di Pabrik Kimia*. Bandung: Penerbit ITB.
- Syardi, Noverian Ruzqia, dan Reka Nia Khusnul Nisya. *Ta: Pengaruh Equivalence Ratio Dan Ukuran Biomassa Pada Gasifikasi Pelet Kayu Sengon Dengan Menggunakan Downdraft Gasifier*. Diss. Institut Teknologi Nasional Bandung, 2020.
- Triantoro, Agus, Adip Mustofa, and Riswan Riswan. "Pengaruh Agen Gasifikasi Batubara Terhadap Produk Gas Yang Dihasilkan Oleh Batubara Peringkat Rendah." *Info-Teknik* 14.2 (2013): 201-210.
- Vidian, Fajri. "Gasifikasi tempurung kelapa menggunakan updraft gasifier pada beberapa perbandingan laju alir udara pembakaran." *Jurnal Teknik Mesin* 10.2 (2008): 88-93.