

Gasifikasi Crossdraft Cangkang Kelapa Sawit Ditinjau Dari Variasi Massa Filter Terhadap Produk Syngas Yang Dihasilkan

Putri Agustina^{*1}, Enjela Perotonika², Wisnu Rahinaya³, Yohandri Bow⁴, Arizal Aswan⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: ¹putriagustina1925@gmail.com, ²perotonika03@gmail.com, ³wisnurahinaya3@gmail.com,
⁴yohandriBow@gmail.com, ⁵kantilmerah2015@gmail.com

Abstrak

Limbah kelapa sawit adalah sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama proses pengolahan kelapa sawit, baik berupa limbah padat dan cair. Limbah padat kelapa sawit antara lain tandan kosong, cangkang dan sabut (fiber). Salah satu teknologi yang saat ini berkembang untuk mengubah biomassa cangkang kelapa sawit menjadi energi adalah gasifikasi biomassa. Gasifikasi merupakan proses konversi energi dari bahan padat (biomassa) menjadi *syngas* (gas hasil sintesa) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Namun meningkatnya kandungan *syngas* juga mengandung partikel pengotor yang tidak sedikit sehingga peneliti memvariasikan massa filter jerami terhadap produk syngas yang dihasilkan, dengan variasi massa filter 0 gr, 100 gr, 200 gr, 300 gr, dan 400 gr. Semakin berat massa filter maka *Low Heating Value syngas* akan meningkat dan efisiensi gas dingin juga meningkat. Variasi filter terbaik didapat pada massa filter 400 gr dengan nilai LHV sebesar 2509,959 KJ/m³ dan efisiensi gas dingin sebesar 43,80%.

Kata kunci: Biomassa, Cold Gas Efficiency, Filter, Gasifikasi

Crossdraft Gasification of Palm Carnel Shells Review from The Variatiom of Filter Mass on The Syngas Products Produced

Abstract

Palm oil waste is the residue of oil palm plantations that are not included in the main product of the palm oil processing process, both in the form of solid and liquid waste. Palm oil solid waste includes empty fruit bunches, shells and fiber. One of the technologies currently developing to convert palm carnel shell biomass into energy is biomass gasification. Gasification is the process of converting energy from solid materials (biomass) into syngas (synthetic gas) which can be used as fuel. However, the increased syngas content also contains large amount of impurity particles, so the researchers varied the mass of the straw filter to the resulting syngas product, with a filter mass variation of 0 gr, 100 gr, 200 gr, 300 gr, and 400 gr. The heavier the filter mass, the Low Heating Value syngas will increase and the efficiency of cold gas will also increase. The best filter variation is obtained at a filter mass of 400 gr with an LHV value of 2509.959 KJ/m³ and a cold gas efficiency of 43.80%.

Keywords: Biomassa, Cold Gas Efficiency, Filter, Gasifikasi

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, berbanding lurus dengan peningkatan volume limbah kelapa sawit. Limbah industri kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi, penanganan yang tidak tepat dipastikan berakibat mencemari lingkungan sekitar. Limbah kelapa sawit adalah sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama proses pengolahan kelapa sawit, baik berupa limbah padat dan cair. Limbah padat kelapa sawit antara lain tandan kosong, cangkang dan sabut (fiber).

Salah satu teknologi yang saat ini berkembang untuk mengubah biomassa cangkang kelapa sawit menjadi energi adalah gasifikasi biomassa. Proses gasifikasi merupakan konversi termokimia dari bahan bakar padat menjadi bahan bakar yang mudah terbakar dengan adanya sejumlah oksigen kurang dari yang dibutuhkan untuk pembakaran stoikiometri[1].

Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi berupa CO, H₂, CO₂, CH₄, sedikit hidrokarbon berantai panjang (etena dan etana), H₂O, N₂, dan berbagai partikulat kecil seperti arang, abu, tar, dan alkali[2]. Produksi syngas dari proses gasifikasi dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi operasi yaitu berupa suhu reaktor. Semakin tinggi suhu ruangan reaktor maka produksi syngas juga semakin tinggi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa

penambahan suhu reaktor dapat mendorong terjadinya dekomposisi rantai karbon dan uap tar yang selanjutnya dikonversi menjadi syngas melalui reaksi *Boudouard* dan *thermal cracking*.

Menurut penelitian yang dilakukan sudarmanta dkk, 2011. Gasifikasi bahan baku limbah kayu dengan kondisi 800°C bisa mencapai 34,20%, dengan komposisi syngas sebagai berikut: H₂ = 14,20 %, CO₂ = 8,32%, CO = 10,42%, CH₄ = 1,54%, dan C₂H₆ = 0,18% dengan nilai kalor bawah sebesar 3246,80 KJ/kg[3]. Menurut muchtar dkk, 2019. Komposisi gas, yang diukur menggunakan biomassa cangkang kelapa sawit pada 700–900°C, adalah 7,01-13,3% (H₂), 13,3-17,8% (CO), 14,9-17,1% (CO₂), dan 2,39–3,90% (CH₄)[4]. Penelitian yang dilakukan Hussein dkk, 2020. Gasifikasi cangkang kelapa sawit diamati bahwa konsentrasi H₂ meningkat dengan kenaikan suhu dari 500°C menjadi 625°C untuk memproduksi H₂ harus pada suhu yang tinggi karena biomassa menghasilkan lebih banyak tar dan hidrokarbon yang tidak terbakar pada suhu yang lebih rendah, H₂ yang dihasilkan akan lebih sedikit.[5]

Pada penelitian yang dilakukan pratama dkk, 2019. Gasifikasi dilakukan dengan tiga bahan baku yang berbeda yaitu sampah kering, pellet dan briket dengan laju alir massa 3,60 kg/jam, 4,61 kg/jam dan 1,42 kg/jam sehingga mendapatkan *cold gas efficiency* masing-masing sebesar 51,89%, 48,28% dan 61,31%. [6] Penelitian yang dilakukan bhakti hendra dan bambang sudarmanta, 2016. gasifikasi biomassa briket dengan syngas hasil ceratan di campur dengan udara sebagai gasifying agent dengan mixer sebelum masuk ke blower udara. [7] Laju alir massa syn-gas yang dicerat divariasikan mulai 0%, 11%, 23%, dan 54%. Dari penelitian dan analisa yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai rasio udara-bahan bakar menurun seiring penambahan ceratan syn-gas yaitu dari 1,04 – 0,44 dan equivalence ratio dari 0,18 – 0,09. Dengan penambahan ceratan diketahui efisiensi terbaik terjadi saat penambahan prosentasi ceratan 11% dengan efisiensi sebesar 66,81%.

Pada penelitian yang dilakukan Kemas dkk, 2017 penggunaan filter serabut kelapa pada proses gasifikasi mampu memisahkan tar sebanyak 70 gram. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Arifin, 2017 penggunaan variasi filter pada proses gasifikasi dengan filter arang tempurung kelapa mendapatkan nilai kalor 2408,944 KJ, variasi filter zeolit 1844,795 KJ, media filter silica gel sebesar 2182,861 KJ. Menurut penelitian Zurohaina dkk, 2016 penggunaan filter jerami mendapatkan nilai kalor sebesar 3,58 MJ[8].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya didapat kandungan syngas pada cangkang kelapa sawit lebih besar dibandingkan biomassa lain dan penggunaan filter terbaik menggunakan filter jerami dengan nilai kalor yang dihasilkan lebih besar daripada filter yang lain.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat

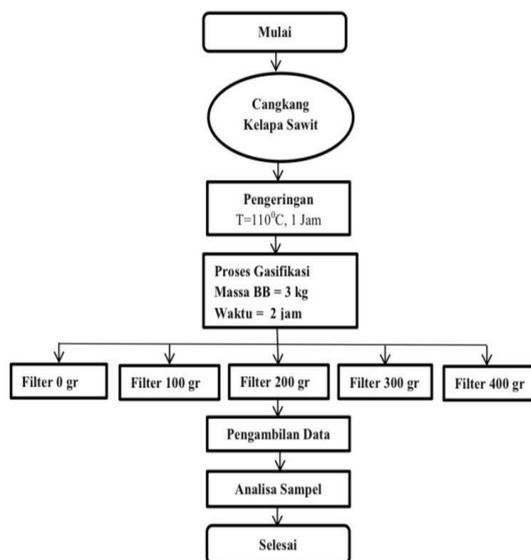
Penelitian ini dilakukan selama 4 Bulan dimulai dari April sampai Juli 2022. Penelitian Dan Pengambilan Data dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Adapun Tahapan Penelitian Meliputi Proses pembuatan Alat Gasifikasi sistem *Crossdraft gasifier*, Penelitian Pengujian alat beserta Proses Analisa Percobaan.

2.2. Alat dan Bahan

Adapun Alat yang dipakai Pada Pembuatan alat dan Penelitian ini adalah Reaktor, Tangki Penampung, Pipa dan Alat Sambung, Pipa *Hollow*, *Blower*, Pompa, Thermokopel, Genset gas, *Filter*.

Bahan baku yang diperlukan dalam Pengoperasinya adalah Cangkang Kelapa Sawit, Air, dan Isian Packing Filter (Jerami).

2.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.4. Prosedur Penelitian

2.4.1. Persiapan Bahan Baku

1. Mengeringkan Canggang Kelapa Sawit Didalam Oven selama 1 jam pada temperatur 100°C
2. Menimbang Berat Bahan Baku yang sudah dikeringkan sebanyak 3 kg untuk satu kali running.

2.4.2. Persiapan Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan untuk pengujian terdiri dari *Thermogun* dan *Anemometer*. Masing-masing alat ukur dipastikan berjalan dengan baik.

2.4.3. Tahapan Gasifikasi

a. Prosedur Melakukan Proses Gasifikasi

1. Memasukkan 3 kg bahan baku yang sudah dipersiapkan sebelumnya ke dalam reaktor.
2. Memasukkan Jerami padi pada tangki yang sebelumnya telah disiapkan sesuai variasi massa filter yang diinginkan.
3. Membuka katup udara dan dipastikan *valve* pada pipa *flare stack* dalam kondisi terbuka dan *valve* pada pipa filter tertutup.
4. Menghidupkan blower pada kontrol panel.
5. Menutup penutup reaktor dan memasang pengait yang tersedia pada penutup dan dipastikan untuk mengencangkannya.
6. Membakar Canggang kelapa sawit di dalam reaktor dengan membuka *fire hole* dan penyulut api menggunakan *torch* untuk memulai proses pembakaran.
7. Menghidupkan pompa air dan pendingin radiator pada control panel ketika sudah muncul asap pada *flare stack*.
8. Menyulut asap pada *flare stack* dengan *torch* ketika warna asap berubah menjadi kekuningan, sehingga diperoleh nyala api konstan.
9. Membuka *valve* pada pipa filter dan ditutup *valve* pada *flare stack* ketika api sudah mulai menyala.
10. Mengukur kecepatan dan temperatur *syngas* dengan alat anemometer
11. Mengambil sampel gas dengan cara menghubungkan *valve* filter dengan gas bag sampai terisi penuh.
12. Menutup *valve* filter setelah pengambilan gas selesai.
13. Proses gasifikasi untuk satu variasi massa filter selesai dan dapat dilanjutkan dengan variasi massa filter selanjutnya

b. Prosedur Mematikan Unit Gasifikasi

1. Menutup *fire hole* pada reaktor.
2. Mematikan blower pada kontrol panel.

3. Membiarkan pendingin dan pompa air menyala untuk membantu menurunkan suhu reaktor.
4. Setelah reaktor dingin, kemudian membersihkan bagian dalam reaktor. Dan proses gasifikasi dapat dilakukan kembali.



Gambar 2.1 Alat Gasifikasi Sistem *Crossdraft Gasifier*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Hasil Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya menggunakan alat gasifikasi tipe crossdraft berbahan baku cangkang kelapa sawit dengan nilai kalor 4679 kkal/kg sebanyak 3 kg per satu kali running. Peneliti memfokuskan untuk mengetahui pengaruh variasi massa filter terhadap komposisi syngas yang dihasilkan, *cold gas efficiency*, nilai kalor syngas, dan nilai SPGR (*Specific Production gasification rate*). Peneliti menggunakan variasi massa filter 0gr, 100gr, 200gr, 300gr, dan 400gr.

Syngas yang dihasilkan dari proses gasifikasi dianalisa di Laboratorium Batubara Politenik Negeri Sriwijaya menggunakan alat *Gas Analyzer*. Sampel syngas hasil gasifikasi tersebut diambil pada saat dihasilkannya nyala api pada flare stack menggunakan plastik berukuran 28 cmx 48 cm sebagai penampung syngas yang diikat dengan selang RO kemudian selang dihubungkan ke bagian sampling valve keluaran syngas.

3.1.1. Data Analisa Proksimat Cangkang Kelapa Sawit

Data analisa proksimat cangkang kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Analisa Proksimat Cangkang Kelapa Sawit

Parameter	Nilai
Total Moisture	8,83%
Ash Content	1,38%
Volatile Metter	71,54%
Fixed Carbon	18,26%
Nilai Kalor	4679 kkal/kg

(sumber: Report Of Analysis Sucofindo Palembang)

3.1.2. Data Komposisi Syngas Variasi Massa Filter

Data pengujian analisis hasil syngas pada saat flare stack yang dibakar menghasilkan nyala api dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Komposisi Syngas Variasi Massa Filter

Variasi Berat Filter Jerami	Komposisi Syngas (%)					
	CH ₄	CO ₂	CO	O ₂	N ₂	H ₂
Tanpa Filter	1,86	9,82	8,46	12,25	63,11	4,50
100 gr	1,89	9,57	8,48	11,51	63,35	5,20
200 gr	1,95	9,31	8,50	10,82	63,72	5,70
300 gr	2,06	9,17	8,54	10,13	64,06	6,04
400 gr	2,11	9,03	8,60	9,31	64,77	6,18

(sumber: Laboratorium Batubara Politeknik Negeri Sriwijaya)

3.1.3. Perhitungan Nilai LHV, Cold Gas Efficiency dan Nilai SPGR

Data nilai LHV *syngas*, cold gas efficiency dan nilai SPGR yang dihitung pada lampiran II dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4

Tabel 4.3 Data Perhitungan Gas Mampu Bakar Terhadap Nilai LHV *Syngas* dan *cold gas efficiency*

Gas Mampu Bakar			LHV _{SG} (KJ/m ³)	η (%)
%CH ₄	%CO	%H ₂		
1,86	8,46	4,50	2221,4106	40,34
1,89	8,48	5,20	2310,183	41,48
1,95	8,50	5,70	2388,155	42,64
2,06	8,54	6,04	2469,341	43,59
2,11	8,60	6,18	2509,959	43,80

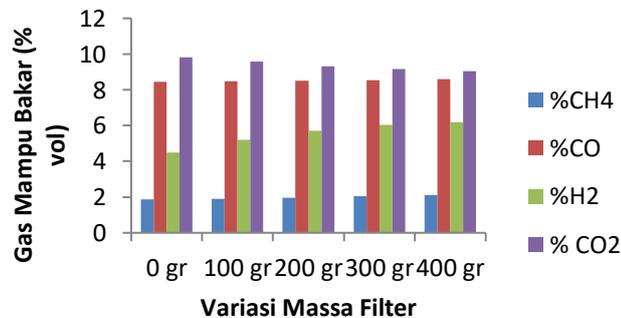
Tabel 4.4 Data Perhitungan Variasi Filter Terhadap Nilai SPGR

Variasi Massa Filter (gr)	Laju Alir Syngas (m ³ /s)	SPGR (m/s)
0	0,000911	0,003831
100	0,000901	0,003789
200	0,000896	0,003768
300	0,000886	0,003725
400	0,000876	0,003683

3.2. Pembahasan Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan variasi massa filter merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas *syngas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi crossdraft. Setelah penelitian dilakukan dengan variasi massa filter yang berbeda, didapatkan data yang akan dianalisa untuk mengetahui pengaruh variasi massa filter terhadap kualitas syngas yang dihasilkan nilai kalor bawah *syngas*, *cold gas efficiency*, dan nilai SPGR.

3.2.1. Pengaruh Variasi Massa Filter Terhadap kualitas Syngas Yang Dihasilkan



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Variasi Massa Filter Terhadap kualitas syngas yang dihasilkan

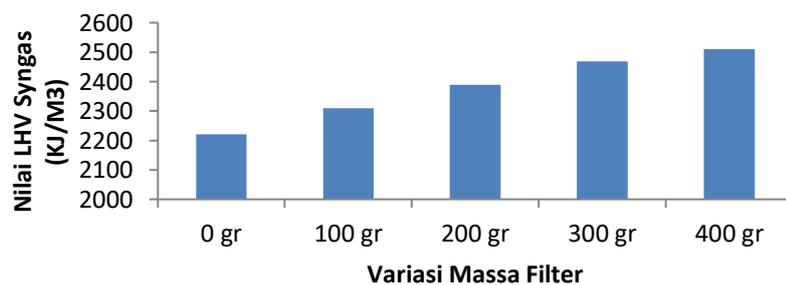
Pada gambar 4.1 ditunjukkan bahwa semakin berat massa filter yang digunakan maka akan berpengaruh terhadap meningkatnya nilai gas mampu bakar CH₄, CO, dan H₂ dan akan menurunnya nilai kandungan CO₂ pada syngas yang disebabkan karena penyerapan kandungan gas berat pada filter dengan menurunnya kandungan CO₂ sehingga menyebabkan peningkatan kandungan gas mampu bakar CH₄, CO, dan H₂. Meskipun kenaikan gas mampu bakar dan penurunan gas CO₂ tidak terlalu signifikan namun hal ini masih terbilang efektif untuk meningkatkan kualitas syngas yang dihasilkan. Dengan menurunnya kandungan CO₂ sehingga gas yang dihasilkan lebih bersih daripada hasil tanpa menggunakan filter.

Menurut Patrisius (2019) CO₂ merupakan zat pengotor yang konsentrasinya paling banyak daripada yang lain sehingga perlu untuk dikurangi jika ingin mendapatkan kandungan metan (CH₄) yang tinggi dan nilai kalor pembakaran yang bagus, untuk mengurangi kandungan CO₂ salah satunya adalah dengan proses adsorpsi[9]. Menurut Kusumawati (2015) Proses peningkatan kadar CH₄,CO, dan H₂ dapat dilakukan dengan melewati ke dalam filter dan terjadinya proses adsorpsi.[10] Menurut Zurohaina dkk, (2016) Dalam adsorpsi gas, jumlah molekul yang teradsorpsi pada permukaan padatan tergantung pada kondisi dalam fase gas[8]. Hal ini

disebabkan karena semakin banyak massa biomassa difilter maka meningkatnya persen gas CH₄, CO, dan H₂ serta gas yang terserap CO₂ menjadi berkurangnya persen volumenya karena merupakan gas yang jauh lebih berat daripada gas lain yang ada pada syngas, sehingga akan tertahan difilter. Menurut Dafiqurrohman, dkk (2020) pengaruh terbesar biomassa sebagai media filter adalah kemampuan adsorpsi permukaan biomassa[11]. Hal ini memperkuat bahwa semakin berat massa filter maka akan meningkatkan gas mampu bakar CH₄, CO, H₂ dan menurunkan gas CO₂.

3.2.2. Pengaruh Variasi Massa Filter Terhadap Nilai Low Heating Value (LHV) Yang Dihasilkan

Low Heating Value (LHV) adalah nilai kalor dimana diasumsikan air dan hydrogen dalam fase uap. Nilai kalor syngas merupakan sifat bahan bakar yang menyatakan kandungan energi pada syngas tersebut. Grafik pengaruh variasi filter terhadap nilai LHV yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.2.



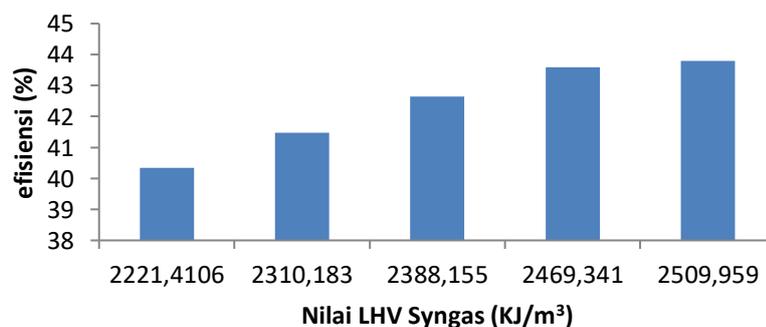
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh variasi filter Nilai Low Heating Value (LHV) Yang Dihasilkan

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa variasi massa filter sangat berpengaruh pada nilai kalor syngas semakin berat massa filter maka nilai kalor akan semakin tinggi hal ini disebabkan semakin berat massa filter maka akan meningkat pula gas mampu bakar pada syngas dimana nilai LHV pada syngas meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi gas mampu bakar seperti CH₄, CO, H₂ pada syngas.

Menurut penelitian Yolanda (2015) salah satu pengaruh nilai LHV yaitu banyaknya gas yang dapat dibakar[12]. Menurut penelitian Belonio (2005) nilai LHV syngas mengalami kenaikan setiap kenaikan penambahan massa filter, hal ini disebabkan karena nilai LHV secara teoritis dipengaruhi oleh komposisi syngas yang dihasilkan[13]. Menurut penelitian Widhianuriyawan (2013) nilai kalor akan meningkat seiring meningkatnya kandungan CH₄, CO, H₂. [14] Menurut penelitian Peneliti terdahulu memperkuat bahwa semakin berat massa filter maka akan mempengaruhi nilai LHV yang dihasilkan.

3.2.3. Pengaruh Nilai LHV Terhadap Cold Gas Efficiency Yang Dihasilkan

Cold Gas Efficiency merupakan perbandingan/rasio [12] antara jumlah energi kimia yang terdapat pada produk syngas dengan jumlah energi kimia yang terdapat pada material mentah (dalam hal ini biomassa cangkang kelapa sawit). Parameter ini hanya memperhitungkan jumlah energi yang terdapat dalam bentuk energi kimia saja, tanpa memperhitungkan panas sensible (Modul Waste to Energy Termal Non-Insinerasi Gasifikasi, 2018). Grafik pengaruh variasi massa filter terhadap cold gas efficiency yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.3



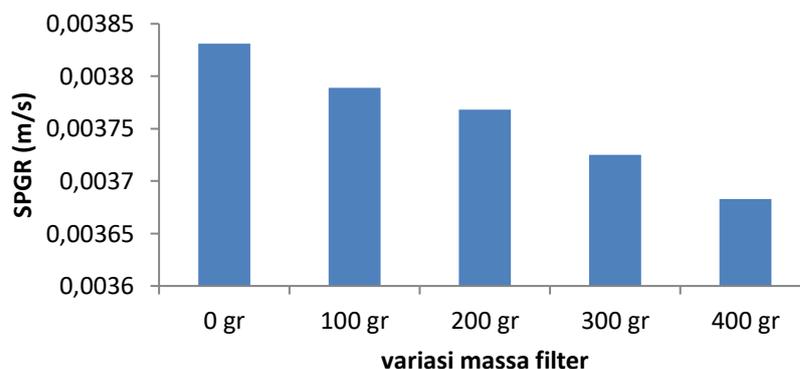
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Nilai LHV Terhadap Cold Gas Efficiency Yang Dihasilkan

Dapat dilihat pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin berat massa filter maka efisiensi gas dingin meningkat dari 40,34% ketika tidak menggunakan filter menjadi 43,80% saat menggunakan filter 400 gr. Efisiensi gas dingin dipengaruhi oleh laju alir massa syngas, laju alir massa bahan baku serta LHV syngas dan LHV bahan baku. Meskipun laju alir syngas menurun tetapi nilai LHV syngas terus meningkat sehingga meningkatkan nilai efisiensi gas dingin.

Menurut penelitian pratama (2019) nilai efisiensi gas dingin meningkat seiring dengan meningkatnya energi *syngas* yang dihasilkan pada percobaannya LHV tertinggi didapat pada gasifikasi briket dengan efisiensi sebesar 51,32%[6]. Menurut penelitian Maulana (2017) nilai efisiensi gas dingin menurun karena terjadinya penurunan pada nilai kalor LHV sehingga meningkatnya efisiensi gas dingin disebabkan karena meningkatnya nilai LHV dan laju alir massa syngas.[15] Nilai efisiensi gas dingin juga dipengaruhi oleh kecepatan pembakaran karena akan meningkatkan laju alir massa. Dari penelitian terdahulu memperkuat bahwa efisiensi gas dingin dipengaruhi oleh nilai LHV syngas yang dihasilkan.

3.2.4. Pengaruh Variasi Massa Filter Terhadap Nilai *Specific Production Gasification Rate* (SPGR)

Nilai *Specific Production Gasification Rate* (SPGR) merupakan nilai yang menyatakan produksi gas yang dihasilkan dalam proses gasifikasi. Nilai SPGR inilah yang menentukan semakin banyaknya nilai produksi gas yang dapat dihasilkan setiap detiknya. Untuk melihat Pengaruh Variasi Massa Filter Terhadap Nilai *Specific Production Gasification Rate* (SPGR) dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Variasi Massa Filter Terhadap Nilai *Specific Production Gasification Rate* (SPGR)

Pada gambar 4.4 semakin berat massa filter maka nilai SPGR akan semakin kecil hal ini disebabkan karena laju alir syngas akan terhambat karena massa filter meskipun nilai SPGR menurun namun tidak terlalu signifikan dan tidak membuat efisiensi gas dingin menurun.

Menurut penelitian Muarif dkk (2015) lama gas yang dihasilkan pada proses gasifikasi saat ditambahkan gas cooler dan filter bertambah 142 detik daripada yang tidak menggunakan gas cooler dan filter[16]. Menurut penelitian terdahulu memperkuat bahwa semakin berat massa filter maka nilai SPGR akan semakin menurun.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian gasifikasi crossdraft berbahan baku cangkang kelapa sawit dengan variasi massa filter terhadap produk syngas yang dihasilkan maka dapat disimpulkan bahwa Variasi massa filter terhadap nilai kalor syngas sangat berpengaruh, semakin berat massa filter maka nilai *Low Heating Value syngas* akan semakin besar. Nilai *Low Heating Value* Tertinggi sebesar 2509,959 KJ/m³ diperoleh dari massa filter seberat 400 gr. Variasi massa filter terhadap nilai kalor syngas sangat berpengaruh, semakin berat massa filter maka *cold gas efficiency* (efisiensi gas dingin) akan semakin besar. Efisiensi gas dingin terbesar diperoleh sebesar 43,80% dengan massa filter seberat 400 gr. Nilai *Specific Production Gasification Rate* (SPGR) pada variasi filter semakin berat massa filter maka akan semakin kecil nilai SPGR hal ini disebabkan karena kecepatan syngas yang menurun akibat terhambatnya laju alir *syngas* namun kualitas *syngas* yang dihasilkan akan semakin bersih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. K. Sansaniwal, M. A. Rosen, S. K. Tyagi, “Global challenges in the sustainable development of biomass gasification: An overview” *Renew. Sustain. Energy*. vol. 80. pp. 23–43, 2017. doi:

- 10.1016/j.rser.2017.05.215.
- [2] H. Alwan, "Model Gasifikasi Biomassa Menggunakan Pendekatan Kesetimbangan Termodinamika Stoikiometris Dalam Memprediksi Gas Produsen" *Jurnal Integrasi Proses*, vol. 8, pp. 31 – 38, 2019. doi: 10.36055/jip.v8i1.5597.
- [3] B. Sudarmanta, D. Sungkono, S. Darsopuspito, S. Kadarisman, "Pengaruh Suhu Reaktor Gasifier dan Ukuran Partikel terhadap Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Limbah Kayu Pada Reaktor Gasifier Type Downdraft", 2011.
- [4] A. Muchta, A. A. Zubair, M. Rao, A. Shaharin, R. Wan, "Effect of particle size and temperature on gasification performance of coconut and palm kernel shells in downdraft fixed-bed reactor", *Journal Energy*, 2019. doi: 10.1016/j.energy.2019.03.138.
- [5] M. Hussain, H. Zabiri, F. Uddin, S. Yusup, L. Dendena, "Pilot-scale biomass gasification system for hydrogen production from palm kernel shell (part A): steady-state simulation", *Journal Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020. doi: 10.1007/s13399-021-01474-1.
- [6] I. Pratama, I. N. Suprpta, I. G. Putu, "Uji Reaktor Gasifikasi Downdraft Biomassa Sampah Kota". *Jurnal METTEK*, vol. 5, no. 2, pp. 110-118, 2019. doi: 10.24843/mettek.2019.v05.i02.p08.
- [7] B. Hendra and B. Sudarmanta, "Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Sistem Ceratan pada Gasifikasi Biomassa Briket Municipal Solid Waste terhadap Performa Gasifier Tipe Downdraft" *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2016. ISSN : 2337-3539, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.20188.
- [8] Zurohaina, A. Azwan, and D. Arnoldi, "The Test Performance Filter Straw As Syngas Cleaner Media On The Appliance Biomass Gasification Of Updraft Sigle Gas Electrical System", *Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST)*, 2016
- [9] A. Patrisius and J. R. Samsir, "Penyerapan CO₂ Menggunakan Absorben Karbon Aktif Dar Arang Tempurung Kelapa Pada Pemurnian Biogas Dalam Kolam", Universitas Brawijaya, 2019
- [10] E. Kusumawati, D. N. Nur, "Peningkatan Kualitas Biogas Melalui Proses Adsorpsi Menggunakan Zeloit Alam" *Bandung: Departemen Teknik Kimia Politeknik Bandung*, 2015. [Online], Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/230>.
- [11] H. Dafiqurrohman, M. I. B. Setyawan, and K. Yoshikawa, "Tar Reduction Using An Indirect Water Condenser And Rice Straw", 2020. doi: 10.1016/j.csite.2020.100696.
- [12] D. S. Yolanda, "Gasifikasi Biomassa (Kayu Labon) Sistem Updraft Sigle Gas Outlet Dengan Sistem Pembersih Dengan Filter Jerami (Tinjauan Kinerja Filter Jerami Terhadap Produk Syngas)", *Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya*, 2015. [Online], Available: <http://dx.doi.org/10.1080/01443410.2015.1044943> <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.581> <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2547ebf4-bd21-46e8-88e9-f53c1b3b927f/language-en> <http://europa.eu/> <http://www.leg.st>.
- [13] T. A. Belonio, "Rice Husk Gas Stove Handbook", *Collage Of Agriculture Central Philippine University, Hailo City*, [Online], 2005. Available: <https://www.pinoyrice.com/wp-content/uploads/management-of-salt-affected-soils-for-rice-production-2.pdf>.
- [14] D. Widhianuriyawan, N. Hamidi, "Variasi Tempetratur Pemanasan Zeolite Alam-NaOH untuk Pemurnian Biogas", *Malang : Universitas Brawijaya*, 2013. [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jem/article/view/8024/6053>.
- [15] I. A. Maulana, "Studi Eksperimental Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Proses Gasifikasi Pellet Municipal Solid Waste (MSW) Terhadap Unjuk Kerja Gasifier Tipe Downdraft Sistem Kontinyu", 2017.
- [16] B. Muarif, I. Dwi, "Pengaruh Gas Cooler dan Filter Pada Proses Gasifikasi Biomasa Cangkang Biji Karet Menggunakan Downdraft Gasifier", *Journal Sinta*, vol. 4, no. 2, 2015.