



Karakteristik syngas dari tempurung kelapa dan pelet kayu jati dengan metode *gasifier downdraft* ditinjau dari kecepatan alir udara

ANDHIKA SATRIA PUTRA*, IBNU HAJAR, LUTHFIA SALAMAH, SAHRUL EFFENDY, DAN YOHANDRI BOW

Jurusan Teknik Energi, Fakultas Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Sumatera Selatan 30137, Indonesia

Kata kunci:

biomassa,
downdraft,
gasifikasi,
syngas

ABSTRAK: Kebutuhan energi akan terus bertambah seiring dengan peningkatan konsumsi energi. Di Indonesia, sumber energi masih didominasi oleh energi fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam, sementara energi terbarukan masih dianggap sebagai alternatif. Salah satu cara untuk mengurangi penggunaan energi fosil adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti biomassa. Sumber energi alternatif dari biomassa seperti tempurung kelapa dan pelet kayu jati. Tempurung kelapa memiliki kandungan karbon tetap yang lebih besar dibandingkan pelet kayu jati, sedangkan pelet kayu mengandung zat-zat mudah menguap yang lebih besar daripada tempurung kelapa, dimana kedua kandungan ini berperan dalam proses gasifikasi. Biomassa dapat menghasilkan gas mampu bakar salah satunya melalui proses gasifikasi. Jenis gasifikasi yang digunakan penelitian ini yaitu downdraft. Variasi tidak tetap yang digunakan yaitu kecepatan udara. Dari hasil penelitian, diketahui bahwa suhu reaktor optimal adalah 760,6 °C pada kecepatan 15,1 m/s. Waktu pembakaran optimal tercatat selama 45 menit pada kecepatan yang sama. Nilai LHV optimal pada kecepatan 15,1 m/s adalah 7.551,58 kJ/kg. Pengaruh kecepatan aliran udara berbanding lurus dengan komposisi syngas, karena semakin tinggi kecepatan aliran udara, semakin tinggi pula komposisi syngas yang dihasilkan.

Keywords:

biomass,
downdraft,
gasification,
syngas

ABSTRACT: The demand for energy will continue to grow along with the increase in energy consumption. In Indonesia, energy sources are still dominated by fossil fuels such as coal, petroleum, and natural gas, while renewable energy is still considered an alternative. One way to reduce the use of fossil fuels is by utilizing renewable energy sources such as biomass. Alternative energy sources from biomass include coconut shells and teak wood pellets. Coconut shells have a higher fixed carbon content compared to teak wood pellets, while the wood pellets contain more volatile matter than coconut shells, both of which play a role in the gasification process. Biomass can produce combustible gas, one of which is through the gasification process. The type of gasification used in this study is downdraft. The variable used in the study is air velocity. The research results show that the optimal reactor temperature is 760,6 °C at a speed of 15,1 m/s. The optimal burning time is recorded at 45 minutes at the same speed. The optimal LHV value at 15,1 m/s is 7.551,58 kJ/kg. The effect of airflow velocity is directly proportional to the syngas composition; the higher the airflow velocity, the higher the syngas composition produced.

1 PENDAHULUAN

Kebutuhan energi akan terus bertambah seiring dengan meningkatnya konsumsi energi, yang dipicu oleh pertumbuhan penduduk di Indonesia. Pertambahan penduduk ini menyebabkan peningkatan aktivitas manusia dalam berbagai sektor, seperti rumah tangga, transportasi, industri, dan lainnya. Di Indonesia, sumber energi masih didominasi oleh energi fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam, sementara energi terbarukan masih dianggap sebagai alternatif. Ketergantungan Indonesia pada energi fosil dapat menyebabkan berbagai dampak negatif, seperti berkurangnya cadangan minyak bumi, kenaikan harga akibat tingginya laju konsumsi energi, dan peningkatan emisi

gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil [1]. Konsumsi minyak bumi di Indonesia jauh melebihi produksi dalam negeri. Berdasarkan laporan *Statistical Review of World Energy* yang dirilis oleh *British Petroleum*, pada tahun 2022 Indonesia hanya mampu memproduksi 31,4 juta ton minyak bumi, sementara konsumsi mencapai 69,7 juta ton, atau 2,2 kali lipat lebih tinggi dari produksi. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), sepanjang tahun 2022 Indonesia mengimpor 40,96 juta ton minyak [2]. Untuk mengatasi masalah tersebut, Kebijakan Energi Nasional (KEN) mengusulkan Solusi seperti konservasi, intensifikasi, dan diversifikasi energi. Salah satu pendekatannya adalah dengan mengurangi penggunaan energi fosil dan memanfaatkan energi terbarukan seperti biomassa. Indonesiamerupakan

* Corresponding Author: dhikasp99@gmail.com

negara dengan wilayah pertanian dan perkebunan yang luas, menghasilkan biomassa yang melimpah, seperti tempurung kelapa, sekam padi, tongkol jagung, limbah kayu, dan cangkang kopi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Sumatera Selatan tahun 2022, produksi kelapa mencapai 58.039 ton [3]. Limbah kayu juga sangat beragam, seperti kayu Sengon, kayu Jati, kayu Mahoni, yang umumnya digunakan sebagai bahan untuk kerajinan. Menurut data nasional dari BPS tahun 2008, produksi serbuk gergaji kayu di Indonesia mencapai 679.247 m³, dengan densitas 600 kg/m³, menghasilkan 407.548,2 ton [4]. Salah satu cara memanfaatkan serbuk kayu sebagai sumber energi terbarukan adalah dengan membuat pelet kayu. Pelet kayu memiliki kandungan abu dan kadar air yang rendah, serta menghasilkan panas yang tinggi dan lebih bersih dibandingkan dengan kayu yang dibakar langsung [5]. Sumber energi alternatif dari biomassa dapat menghasilkan gas yang dapat dibakar melalui berbagai proses, salah satunya adalah gasifikasi [6]. Gasifikasi biomassa adalah proses termokimia yang mengubah biomassa menjadi gas bahan bakar yang terdiri dari CO, CO₂, H₂, CH₄, dan lainnya [7]. Gasifikasi terjadi dengan suplai udara terbatas, yaitu antara 20% hingga 40% [8]. Proses gasifikasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah laju alir udara. [9] menunjukkan bahwa peningkatan laju alir udara meningkatkan suhu dalam reaktor yang diperlukan untuk proses gasifikasi. Nilai kalor tertinggi dicapai pada kecepatan alir udara tertinggi, yaitu 3,1 m/s. Nilai kalor syngas yang tinggi sangat diharapkan dari proses gasifikasi karena dapat meningkatkan efisiensi. Peningkatan laju alir udara menyebabkan peningkatan jumlah syngas, karena lebih banyak N₂ yang masuk ke dalam gasifier, sehingga syngas yang dihasilkan juga meningkat [10]. Selain laju alir udara, komposisi syngas yang baik juga dipengaruhi oleh penggunaan filter. [11] menyatakan bahwa massa filter dari sekam padi, yang memiliki serat yang cocok sebagai filter, dapat mengurangi CO, meningkatkan CH₄ dan H₂, serta membersihkan gas dari kandungan tar. Penggunaan filter ini sangat mempengaruhi LHV syngas yang dihasilkan dikarenakan semakin berat massa filter, semakin besar LHV syngas [12]. Berdasarkan penelitian yang ada, akan dilakukan penelitian tentang "Karakteristik Syngas dari Tempurung Kelapa dan Pelet Kayu Jati dengan Metode Gasifier Downdraft Ditinjau dari Kecepatan Alir Udara", dengan variasi kecepatan alir udara 7,5 m/s, 9,4 m/s, 11,3 m/s, 13,2 m/s, dan 15,1 m/s untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan dari biomassa seperti tempurung kelapa dan pelet kayu jati melalui proses gasifikasi metode *downdraft*.

2 ALAT, BAHAN DAN METODA

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan seperti tempurung kelapa, pelet kayu jati. Sekam padi sebagai material isian filter. Jumlah bahan yang dipakai adalah 37,5 kg tempurung kelapa, 37,5 kg pelet kayu jati, dan 4 kg sekam padi. Alat-alat yang digunakan meliputi perangkat gasifikasi *downdraft*, yang terdiri dari reaktor, *cyclone*, blower udara, blower syngas, *gas Cooler*, filter, panel kontrol, aki, *flare gas*, radiator, pompa vakum. Data penelitian diambil dari berbagai variasi perlakuan yang melibatkan variabel tetap dan variabel tak tetap. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah komposisi bahan baku 50:50, sementara variabel yang bervariasi adalah kecepatan alir udara.

Jenis penelitian ini merupakan eksperimen, di mana perlakuan diberikan melalui variasi komposisi bahan baku. Tujuan dari penelitian eksperimen ini adalah untuk mengkaji hubungan sebab akibat dengan membandingkan kelompok eksperimen yang mendapatkan perlakuan dan kelompok kontrol yang tidak menerima perlakuan. Rancangan percobaan meliputi analisis *proximate* dan pengoperasian alat gasifikasi untuk menghasilkan syngas yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut.

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada 25 April sampai 14 Juni 2024 di Laboratorium Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui syngas yang dihasilkan dari proses *gasifier downdraft* dengan bahan baku tempurung kelapa dan pelet kayu jati. Variabel yang diamati meliputi pengaruh variasi kecepatan alir udara terhadap temperatur reaktor, komposisi syngas dan nilai kalor syngas.

Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tempurung kelapa dan pelet kayu jati. Sebelum digunakan, bahan tersebut harus dijemur di bawah sinar matahari selama 2 jam hingga kadar airnya berkurang di bawah 15%. Setelah proses pengeringan selesai, dilakukan analisis *proximate* untuk menentukan kadar air tertambat, zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat menggunakan alat *Thermogravimetric Analyzer (TGA 701) ASTM D 7582-10* di Politeknik Negeri Sriwijaya.

Prosedur Gasifikasi

Proses Start Up dan Gasifikasi

Pada proses start-up dan gasifikasi, 10 kg campuran tempurung kelapa dan pelet kayu jati dimasukkan ke dalam *gasifier*. Media filter berupa sekam padi juga dimasukkan ke dalam tangki filter. Kabel jumper dihubungkan untuk mengaktifkan aki, lalu baterai *charger* disambungkan ke sumber listrik dan sistem daya pada panel gasifikasi diaktifkan. *Blower* dipasang dan dinyalakan untuk menghisap *syngas*, sementara bagian atas reaktor ditutup dan dikencangkan. Asap pekat yang muncul pada *fire test* disulut dengan api untuk mendapatkan nyala api konstan, menandakan dimulainya proses gasifikasi pada waktu ke-0. Setiap 10 menit, 1 kg bahan baku ditambahkan, dan jika nyala api stabil, *syngas* dialirkan menggunakan pompa vakum [13]. Eksperimen dilanjutkan dengan variasi kecepatan alir udara yang ditentukan yaitu 7,5 m/s, 9,4 m/s, 11,3 m/s, 13,2 m/s, dan 15,1 m/s.

Tahapan Pengambilan Syngas

Pengambilan *syngas* dimulai saat api menyala dengan konstan. Pada tahap ini, *valve output syngas* dibuka dan selang *syngas* dihubungkan ke pompa vakum untuk memudahkan aliran *syngas*. Ujung selang kemudian dihubungkan ke *urine bag* sebagai penampung *syngas*. Setelah pengambilan selesai, *valve output syngas* ditutup, dan pompa vakum dimatikan.

Prosedur Mematikan Gasifier

Prosedur mematikan *gasifier* meliputi menutup semua katup, membuka penutup reaktor, dan menyalakan *blower* untuk mengeluarkan gas tersisa. Setelah asap berkurang, *blower* dimatikan, sisa pembakaran dikeluarkan dan ditimbang, dan bagian dalam reaktor serta burner dibersihkan untuk mencegah tar mengeras.

Analisa Syngas

Syngas yang telah diambil menggunakan *urine bag* kemudian dianalisis dengan *Gas Analyzer* di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya untuk menentukan komposisi *syngas*.

Analisa Data

Dalam meninjau jenis biomassa terhadap hasil *syngas*, terdapat beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan untuk menentukan hasil *syngas* seperti berikut :

Komposisi Syngas

Komposisi *syngas* yang dihasilkan akan dicek melalui *Gas Analyzer* di Laboratorium Teknik Kimia

Politeknik Negeri Sriwijaya. Setelah itu, dianalisa pengaruh komposisi *syngas* yang dihasilkan terhadap efisiensi termal pada proses gasifikasi.

Gas Heating Value

Kandungan energi merujuk pada nilai kalor yang memengaruhi hasil energi dari *gasifier*. Komposisi *syngas* dapat memengaruhi nilai kalor bawah (LHV) dari *syngas* sehingga dapat dihitung dengan persamaan (1) [14] :

Tabel 1 Nilai LHV *Flammable gas* pada *Syngas*

CO (kJ/kg)	H ₂ (kJ/kg)	CH ₄ (kJ/kg)
12696	10768	35866

(Sumber: Ayu, 2022)

Dari komposisi *syngas* dapat dihitung LHV *syngas* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$LHV \text{ syngas} = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot LHV_i) \quad (1)$$

Keterangan:

Y_i = persentase volumetrik (CO, CH₄, H₂)

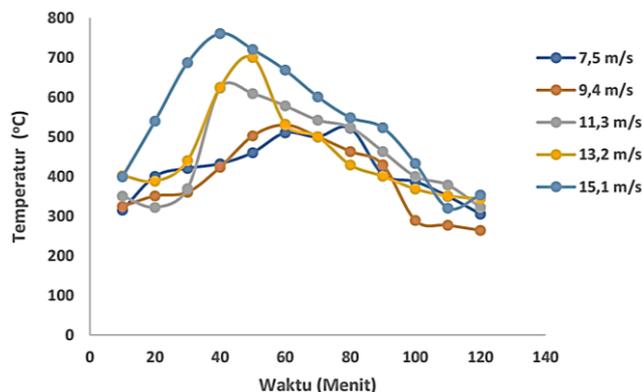
LHV_{*i*} = Nilai kalor bawah dari gas mampu bakar (CO, CH₄, H₂)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang Karakteristik *Syngas* Dari Tempurung Kelapa Dan Pelet Kayu Jati Dengan Metode *Gasifier Downdraft* Ditinjau Dari Kecepatan Alir Udara yang menilai komposisi *syngas* dan nilai kalor, menghasilkan data yang mencakup analisis, perhitungan, dan pengamatan.

Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Alir Udara terhadap Perubahan Temperatur

Pengaruh variasi kecepatan udara terhadap perubahan temperatur dapat dilihat pada Gambar 1.

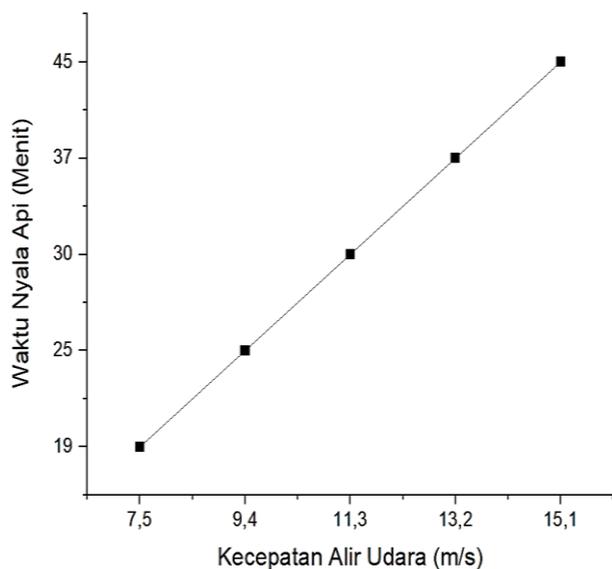


Gambar 1 Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Perubahan Temperatur

Gambar 1 menunjukkan grafik perubahan suhu pada zona oksidasi, yaitu area tempat suplai udara selama operasi gasifikasi. Temperatur tertinggi tercatat pada pengujian dengan kecepatan 15,1 m/s, mencapai 760,6°C pada menit ke-40, sementara temperatur terendah terjadi pada kecepatan 7,5 m/s, yaitu 522°C pada menit ke-80. Peningkatan kecepatan udara menyebabkan suhu reaktor di zona oksidasi meningkat karena penembusan udara ke dalam unggun reaktor lebih besar pada kecepatan udara tinggi dibandingkan dengan kecepatan rendah. Hal ini menyebabkan lebih banyak tempurung kelapa dan pelet kayu jati teroksidasi (menghasilkan panas yang lebih besar), sehingga proses reaksi dan pembentukan gas produksi terjadi lebih cepat. Panas yang tinggi ini berdampak positif pada reaksi-reaksi yang memerlukan panas oksidasi, seperti pengeringan, pirolisis, dan reduksi. Temuan ini konsisten dengan penelitian oleh [15] yang menunjukkan bahwa peningkatan aliran udara pembakaran dapat meningkatkan suhu dalam reaktor yang diperlukan untuk proses gasifikasi.

Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Alir Udara terhadap Lama Nyala Api

Pengaruh variasi kecepatan udara terhadap lama nyala api dapat dilihat pada Gambar 2.



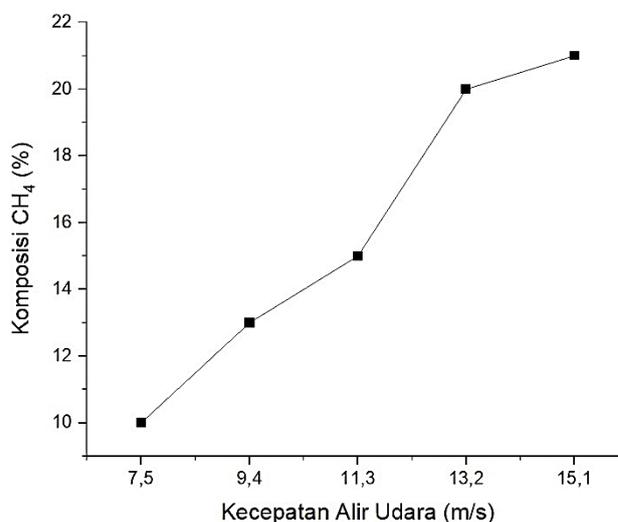
Gambar 2 Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Lama Nyala Api

Gambar 2 mengindikasikan bahwa variasi kecepatan udara sangatlah mempengaruhi lama nyala api pada flare gas dikarenakan semakin banyak udara menyebabkan semakin cepat udara bereaksi dengan tempurung kelapa dan pelet kayu di zona oksidasi sehingga cepat juga menghasilkan syngas. Lama nyala api flare gas paling lama pada variasi

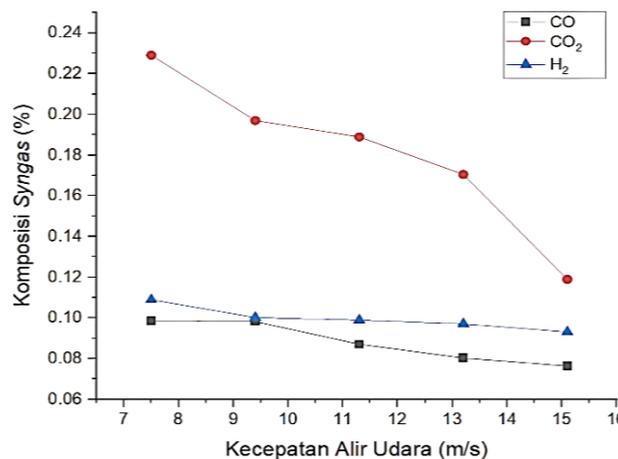
kecepatan udara sebesar 15,1 m/s yaitu 45 menit dan lama nyala api flare gas paling cepat pada variasi kecepatan udara sebesar 7,5 m/s yaitu 19 menit. Hal ini juga selaras dengan penelitian yang telah dilakukan [16] menyatakan jika kecepatan udara yang masuk ke gasifier kecil menyebabkan produksi syngas kurang optimal sehingga mempengaruhi nyala api syngas mati pada menit ke-20.

Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Alir Udara terhadap Komposisi Syngas dan LHV Syngas

Pengaruh variasi kecepatan alir udara terhadap komposisi syngas dan nilai LHV syngas dapat dilihat pada Gambar 3-5.



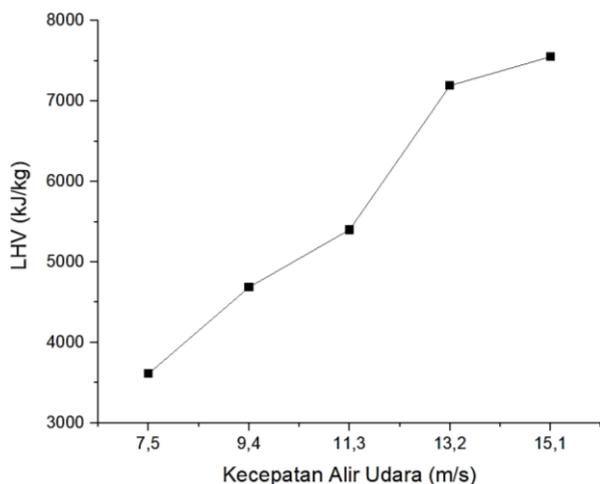
Gambar 3 Grafik Variasi Kecepatan Alir Udara Terhadap Komposisi CH₄



Gambar 4 Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Komposisi Syngas (CO, CO₂, H₂)

Pada penelitian ini dilakukan analisa komposisi syngas terdiri dari CH₄, CO, CO₂, dan H₂. Pada Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin

tinggi kecepatan udara maka konsentrasi CO dan CO₂ akan menurun sedangkan CH₄ dan H₂ akan naik. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan udara menyebabkan temperatur oksidasi meningkat sehingga suplai panas pada zona reduksi cenderung naik sehingga mengakibatkan H₂ dan CH₄ cenderung meningkat. Hal ini juga selaras dengan penelitian [17] menyatakan bahwa jika Ketika kecepatan alir udara masuk meningkat, maka kecepatan keluarnya syngas juga meningkat, serta komposisi syngas yang dihasilkan menjadi lebih besar.



Gambar 5 Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Nilai LHV Syngas

Gambar 5 menunjukkan bahwa dari rentang kecepatan alir udara antara 7,5 m/s hingga 15,1 m/s, nilai kalor bawah (LHV) tertinggi ditemukan pada kecepatan alir udara tertinggi, yaitu 15,1 m/s, dengan nilai sebesar 7.551,58 kJ/kg. Sebaliknya, nilai kalor terendah terdapat pada kecepatan alir udara terendah, yaitu 7,5 m/s, sebesar 3.610,84 kJ/kg. Peningkatan kecepatan alir udara memperbaiki efektivitas gasifikasi bahan baku, menghasilkan lebih banyak syngas dengan komposisi H₂ dan CH₄ yang lebih baik. Gas-gas ini memiliki nilai kalor yang tinggi, sehingga menghasilkan nyala api yang lebih kuat dan tahan lama saat terbakar. Nilai LHV syngas yang tinggi sangat diinginkan dalam proses gasifikasi karena dapat meningkatkan efisiensi gasifikasi, dengan syngas yang lebih mudah terbakar [18].

4 KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa dalam metode *gasifier downdraft*, kecepatan aliran udara berbanding lurus dengan suhu reaktor, lama nyala api, nilai kalor (LHV), dan komposisi syngas. Pada kecepatan optimal 15,1 m/s, suhu reaktor mencapai 760,6 °C, waktu nyala api terpanjang 45 menit, dan nilai LHV tertinggi sebesar 7.551,58 kJ/kg. Peningkatan ke-

cepatan aliran udara meningkatkan kualitas syngas, menunjukkan pentingnya optimisasi aliran udara untuk efisiensi proses gasifikasi.

REFERENSI

- [1] Lubis, A. (2007). Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *J. Tek. Ling*, 8(2), 155–162.
- [2] A, Adi. (2023). *Volume Produksi Dan Konsumsi Minyak Bumi Indonesia*. 30 Nov 2023, <https://Databoks.Katadata.Co.Id/Datapublish/2023/11/30/Konsumsiminyak-Bumi-Indonesia-2-Kali-Lebih-Banyak-Dari-Produksi-Pada-2022>. Diakses 5 Juni 2024.
- [3] Berli. (2023). *5 Daerah Penghasil Kelapa Terbesar di Sumsel, Tertinggi dari Tetangga Palembang*. <https://sumsel.inews.id/berita/5-daerah-penghasil-kelapa-terbesar-di-sumsel-tertinggi-dari-tetangga-palembang>. Diakses tanggal 5 Juni 2024.
- [4] Syafa'ad, I. (2022). Perancangan Mesin Press Biobriket Serbuk Kayu Tipe Screw dengan Kapasitas 10 Kg/Jam. *Journal Technology Urgency Breaktrugh in ...*, 1, 80–89. <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/turbine/article/view/24869%0Ahttps://ejournal.umm.ac.id/index.php/turbine/article/download/24869/12236>.
- [5] Haluti, S., & Study Mesin Dan Peralatan Pertanian Politeknik Gorontalo Jln Sapta Marga Bonebolango Propinsi Gorontalo Abstrak, P. (2016). Pemanfaatan Potensi Limbah Tongkol Jagung Sebagai Syngas Melalui Proses Gasifikasi Di Wilayah Provinsi Gorontalo. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 9(1), 6–10. [Http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jem](http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jem).
- [6] Aulia, M., Fariha, Y. D., & Santosa, S. (2023). Pengaruh Ukuran Serutan Kayu Terhadap Produksi Gas Methane Dengan Teknologi Gasifikasi Pada Reaktor Downdraft. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 5(2), 81–85. <https://Doi.Org/10.33795/Distilat.V5i2.33>.
- [7] Z, Jiajun,dkk. (2019). *The Thermochemical Conversion of Biomass Into Biofuels*. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/gasification>. Diakses tanggal 25 Juni 2024.
- [8] Vidian, F. (2008). Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier Pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(02), 88–93.
- [9] Syarif, A., Aswan, A., Rusnadi, I., Fadhulullah, A., Azizah, N., Teknik, J., Politeknik, K., Sriwijaya, N., Srijaya, J., & Bukit Besar, N. (2020). Pengaruh Variasi Laju Alir Udara Dan Filter Terhadap Proses Gasifikasi Dengan Sistem Downdraft Effect Of Air Flow And Filter Variation On Coal Gasification Process With The Downdraft System. *Jurnal Kinetika*, 11(01), 36–44. <https://Jurnal.Polsri.Ac.Id/Index.Php/Kimia/Index>.
- [10] Pujiastuti, S. L., Hidayat, R., Fajriani, S., Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya, J., & Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, J. (2017). *Co-Gasification Downdraft*

System (Viewed From Fuel Flow Air Toward Syngas Product).

- [11] Syarif, A., Aswan, A., Rusnadi, I., Fadhulullah, A., Azizah, N., Teknik, J., Politeknik, K., Sriwijaya, N., Srijaya, J., & Bukit Besar, N. (2020). Pengaruh Variasi Laju Alir Udara Dan Filter Terhadap Proses Gasifikasi Dengan Sistem Downdraft Effect Of Air Flow And Filter Variation On Coal Gasification Process With The Downdraft System. *Jurnal Kinetika*, 11(01), 36–44. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>.
- [12] Aulia, M., Fariha, Y. D., & Santosa, S. (2023). Pengaruh Ukuran Serutan Kayu Terhadap Produksi Gas Methane Dengan Teknologi Gasifikasi Pada Reaktor Downdraft. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 5(2), 81–85. <https://doi.org/10.33795/distilat.v5i2.33>.
- [13] Zurohaina, dkk. (2024). *Jobsheet Praktikum Teknologi Bioenergi*. Program Studi Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [14] Ependi, D. R. (2017). Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Udara Inlet Zona Oksidasi Pada Proses.
- [15] Syarif, A., Aswan, A., Rusnadi, I., Fadhulullah, A., Azizah, N., Teknik, J., Politeknik, K., Sriwijaya, N., Srijaya, J., & Bukit Besar, N. (2020). Pengaruh Variasi Laju Alir Udara Dan Filter Terhadap Proses Gasifikasi Dengan Sistem Downdraft Effect Of Air Flow And Filter Variation On Coal Gasification Process With The Downdraft System. *Jurnal Kinetika*, 11(01), 36–44. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>.
- [16] Riansyah, D., & Sutjahjo, D. H. (2019). Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (Afr) Pada Gasifier Terhadap Kuantitas Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Biomassa Cangkang Sawit. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 07(02), 37–42.
- [17] Riansyah, D., & Sutjahjo, D. H. (2019). Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (Afr) Pada Gasifier Terhadap Kuantitas Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Biomassa Cangkang Sawit. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 07(02), 37–42.
- [18] Pujiastuti, S. L., Hidayat, R., Fajriani, S., Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya, J., & Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, J. (2017). *Co-Gasification Downdraft System (Viewed From Fuel Flow Air Toward Syngas Product)*.