

Produksi Syngas Dari Proses Gasifikasi Biomassa Menggunakan *Downdraft Gasifier* Sebagai Gas Bakar Pada Motor Bakar Empat Tak

Sania Okta Narega^{*1}, Romy Apriansyah Ysf², Arizal Aswan³, Fatria⁴, Erlinawati⁵, Hilwatullisan⁶

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: ¹sanianarega13@gmail.com, ²romyapr7134@gmail.com, ³arizal_aswan@gmail.com,
⁴fatriaahmadan@gmail.com, ⁵erlinawatiakil@yahoo.com, ⁶hilwatullisan@polsri.ac.id

Abstrak

Seiring dengan peningkatan teknologi yang semakin unggul, semakin besar pula industri kontemporer di Indonesia. Namun perkembangan usaha ini sendiri mengabaikan limbah bisnis yang tidak dimanfaatkan sehingga limbah tersebut akan menjadi limbah yang mengganggu lingkungan. Teknologi pengolahan limbah ini efektif, hijau dan ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan bantuan pemanfaatannya sebagai sumber energi terbarukan. Upaya penindakan limbah ini diatasi dengan menggunakan metode teknologi gasifikasi. Gasifikasi adalah proses konversi termal pada bahan bakar padat sehingga menjadi gas mampu bakar (H_2 , CH_4 , dan CO). Penelitian dilakukan menggunakan seperangkat alat gasifikasi tipe *downdraft* dengan bahan baku berupa limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit. Penelitian yang dilakukan pada Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya ini dimulai dengan proses preparasi bahan baku berupa pengeringan bahan baku berupa kayu akasia dan tempurung sawit sampai kadar airnya kurang dari 15%. Selanjutnya proses gasifikasi berdasarkan variasi bahan baku. Parameter proses yang diamati adalah pengaruh variasi bahan bakar limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit pada reaktor gasifikasi terhadap stabilitas nyala engine; warna dan lama nyala api syngas; komposisi syngas serta energi spesifik yang dihasilkan. Dari hasil penelitian, komposisi syngas terbaik adalah pada variasi bahan baku tempurung kelapa sawit dengan karakteristik nyala api berwarna biru dan waktu nyala paling lama ± 7 menit, nyala engine stabil dan energi spesifik yang dihasilkan paling besar yaitu 3406,0561 kkal/kg.

Kata kunci: *Biomassa, Gasifikasi Downdraft, Komposisi syngas, Stabilitas Nyala Engine, Warna dan Lama Nyala Api.*

Production Syngas from Biomass Gasification Process Using Downdraft Gasifier As Fuel Gas In Four Stock Combustion Motors

Abstract

In conjunction with the improvement of the increasingly superior technology, the greater contemporary industries in Indonesia. but the development of this enterprise itself ignores business waste that isn't utilized so that the waste best will become waste that disturbs the environment. This waste treatment technology is effective, green and environmentally friendly to overcome these problems with the help of its use as a renewable energy source. This waste suppression effort is overcome by using gasification technology methods. Gasification is a thermal conversion process of solid fuel so that it becomes combustible gas (H_2 , CH_4 , and CO). The research was conducted using a set of downdraft type gasification equipment with raw materials in the form of acacia wood waste and oil palm shells. The research, which was conducted at the Energy Engineering Laboratory of the Sriwijaya State Polytechnic, began with the process of preparing raw materials in the form of drying raw materials in the form of acacia wood and palm shells until the moisture content was less than 15%. Furthermore, the gasification process is based on variations in raw materials. The process parameters observed were the effect of variations in acacia wood waste fuel and oil palm shell in the gasification reactor on the stability of the engine flame; color and duration of the syngas flame; syngas composition and the specific energy produced. From the results of the study, the best syngas composition was in the variation of palm shell raw materials with the characteristics of a blue flame and the longest flame time of ± 7 minutes, the engine flame was stable and the specific energy produced was 3406,0561 kcal/kg the most.

Keywords: *Biomass, Downdraft Gasification, Engine Flame Stability, Flame Color and Length, Syngas Composition*

1. PENDAHULUAN

Kelangkaan Energi di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat pesat. Untuk mengatasi kelangkaan tersebut, telah diupayakan oleh pemerintah energi baru dan terbarukan yang dapat implementasikan di Indonesia. Biomassa merupakan salah satu aset energi terbarukan (EBT) yang memiliki kapasitas besar di Indonesia, namun pemanfaatannya belum sempurna. Pengertian dari biomassa itu sendiri adalah bahan organik yang tersusun atas ikatan karbon dioksida (CO₂), udara, air, tanah dan sinar matahari yang berasal dari tumbuhan dan hewan [1]. Dengan sumber energi *eco friendly* yang berasal dari CO₂ di udara biomassa mendapatkan CO₂ yang sama jumlahnya dengan CO₂ yang tercerna pada proses fotosintesis [2]. Biomassa biasanya digunakan sebagai pemasok energi (gas) di Indonesia memiliki biaya moneter yang rendah, atau merupakan pemborosan yang telah diambil dari produk utama. Biomassa tersebut dapat berasal dari tumbuhan, pohon, rumput, ubi.jalar, limbah pertanian, limbah hutan, feses, dan kotoran ternak. Kapasitas sumber biomassa di Indonesia diperkirakan sebesar 49.810 MW yang berasal dari tumbuhan dan limbah. Kapasitas biomassa besar yang tersedia untuk pembangkit listrik saat ini adalah limbah dari produk pertanian dan perkebunan termasuk kelapa sawit, kelapa dan tebu, selain limbah hasil hutan, bersama dengan limbah gergajian dan limbah produksi kayu [3].

Salah satu energi terbarukan yang saat ini sedang dikembangkan adalah biomassa. Indonesia merupakan negara pedesaan dengan lingkungan tropis sehingga memiliki kapasitas biomassa yang sangat tinggi, salah satunya adalah limbah kayu. Di Indonesia, ada tiga jenis industri kayu yang dibedakan dalam produksi kayu dalam jumlah besar, yaitu penggergajian kayu, veneer/kayu lapis dan pulp/kertas [4].

Pada proses pengolahan limbah pertanian tempurung kelapa sawit digunakan sebagai bahan baku proses pembakaran pada pengolahan *palm oil mill effluent* (POME) [5]. Sedangkan pada industri pemotong kayu 30 % dari pohon yang ditebang merupakan bahan yang tidak digunakan. Dengan berpedoman pada angka-angka tersebut diatas dan berdasarkan angka-statistik (2018) limbah kayu, di Indonesia diperkirakan 4,5 juta ton pertahun [6].

Untuk mengatasinya, limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai peluang aset energi melalui proses gasifikasi. Gasifikasi adalah proses termokimia untuk mengubah bahan bakar padat menjadi gas, dimana udara yang dibutuhkan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Gasifikasi biomassa merupakan reaksi konversi termal yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang mudah terbakar. Gas yang mudah terbakar dari gasifikasi disebut juga gas producer yang terdiri dari gas CO, H₂, CH₄) [7].

Hasil penelitian yang didapatkan komposisi *syngas* terbaik adalah pada variasi bahan bakar tempurung kelapa sawit dengan karakteristik nyala api berwarna biru dan waktu nyala paling lama ± 7 menit, nyala *engine* stabil dan energi spesifik yang dihasilkan paling besar yaitu 3406,0561 kkal/kg.

Dari permasalahan ini, maka lingkup pada penelitian ini adalah untuk melaksanakan gasifikasi dengan bahan bakar limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit dengan mengamati pengaruh variasi bahan bakar terhadap warna dan lama nyala api, energi spesifik yang dihasilkan; serta menghidupkan motor bakar menggunakan bahan bakar gas hasil gasifikasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dalam 4 (Empat) minggu dimulai pada 1 Juni – 1 Juli 2022. Penelitian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Teknik Energi dan Laboratorium Analisa Batubara Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah alat gasifikasi tipe *downdraft*, pemantik butan, *digital thermogun*, stik logam, *plastic sampling*, neraca teknis.

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit.

2.3. Preparasi Bahan Baku

Persiapan dilakukan dengan menyiapkan biomassa kayu akasia dan tempurung kelapa sawit sebanyak masing-masing 10 kg yang telah dipotong kecil dengan ukuran yang telah seragam. Setelah itu mengeringkan bahan baku yang akan digunakan dengan menjemur dibawah terik matahari sehingga diperoleh kadar air dibawah angka 15% atau mencapai nilai *equilibrium moisture*.

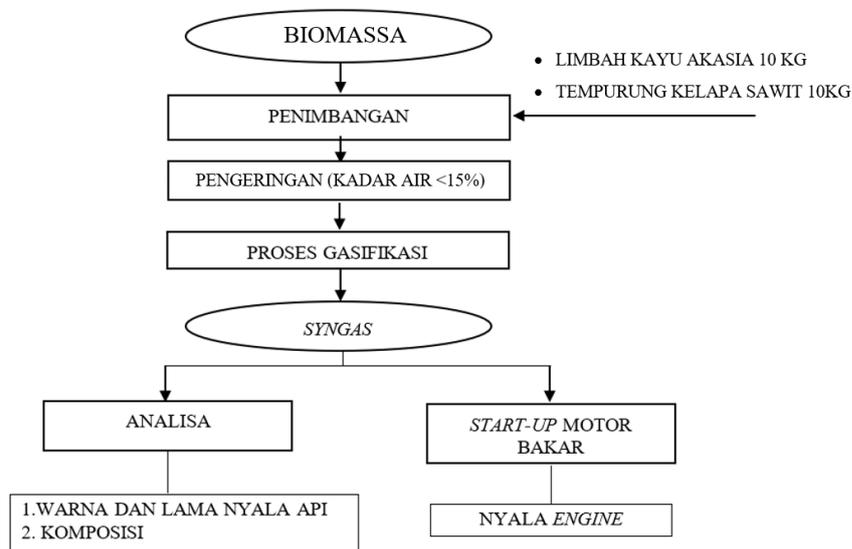
2.4. Proses Gasifikasi Biomassa

Penelitian dimulai dengan melakukan proses preparasi bahan bakar berupa pengeringan bahan baku berupa kayu akasia dan tempurung sawit sampai kadar airnya kurang dari 15%. Penelitian dilanjutkan dengan proses gasifikasi dengan variasi bahan bakar. Variasi Bahan Baku berupa limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit merupakan salah satu unsur yang berpengaruh terhadap nilai komposisi syngas yang dihasilkan. Bahan Baku yang digunakan adalah limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit dengan pengujian menggunakan waktu operasi yang sama (menit ke-30, 60, dan 90).

Parameter proses yang diamati adalah pengaruh variasi bahan bakar limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit pada reaktor gasifikasi terhadap warna dan lama nyala api *syngas*, stabilitas nyala *engine*, dan komposisi *syngas* serta menghitung energi spesifik yang dihasilkan.

Gas hasil gasifikasi yang tertampung dalam kantong plastik akan dianalisa menggunakan alat *Multi Gas Detector Analyzer*.

2.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Variasi Bahan Baku Terhadap Warna dan Lama Nyala Api

Diketahui dari penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa variasi bahan baku limbah kayu akasia memiliki warna nyala api yang dihasilkan pada menit ke-30 yaitu berwarna merah, pada menit ke-60 tetap berwarna merah dan pada menit ke-90 berwarna biru. Sedangkan pada variasi bahan baku tempurung kelapa sawit warna nyala api yang dihasilkan pada menit ke-30 yaitu berwarna merah, pada menit ke-60 berwarna biru dan pada menit ke-90 tetap berwarna biru.

Stephen R. Turns 1996 [8] berpendapat bahwa Warna api dipengaruhi oleh hal-hal, khususnya komposisi bahan bakar dan kombinasi udara yang terbakar. sementara perapian memiliki warna yang hampir tidak merah, dapat diartikan bahwa bahan api memiliki nilai komposisi gas yang mudah terbakar (CO, H₂, CH₄) yang cukup rendah, atau kombinasi udara pada proses pembakaran hanya sedikit. Saat api berwarna kebiruan adalah sebaliknya yang mewakili komposisi *flammable gas* (CO, H₂, CH₄) yang ada tinggi. Oleh karena itu, dengan menggunakan dua variasi bahan baku yaitu limbah kayu akasia dan tempurung kelapa sawit dimana didapatkan warna nyala api yang paling optimum pada keduanya sama-sama mencapai warna api biru, meskipun kedua bahan baku memiliki perbedaan waktu untuk mencapai warna api biru tersebut.

Pada parameter lama nyala api dengan variasi bahan baku limbah kayu akasia didapatkan pada menit ke-30 menyala selama ± 5 menit, menit ke-60 selama ±5 menit dan pada menit ke-90 selama ±6 menit. Sedangkan lama nyala api yang didapatkan dengan variasi bahan baku tempurung kelapa sawit pada menit ke-30 menyala selama ± 6 menit, menit ke-60 selama ±7 menit dan pada menit ke-90 selama ±6 menit. Untuk data pengaruh variasi bahan baku terhadap warna dan lama nyala api dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Data Variasi Bahan Baku Limbah Kayu Akasia Terhadap Warna, Lama Nyala Api

Berat Bahan Baku (Kg)	Waktu (Menit-ke)	T _{burner} (°C)	Warna Nyala Api	Lama Nyala Api (Menit)
10	30	423	Merah	± 5
10	60	512	Merah	± 5
10	90	643	Biru	± 6

Tabel 2. Data Variasi Bahan Baku Tempurung Kelapa Sawit Terhadap Warna, Lama Nyala Api

Berat Bahan Baku (Kg)	Waktu (Menit ke-)	T _{burner} (°C)	Warna Nyala Api	Lama Nyala Api (Menit)
10	30	430	Merah	± 6
10	60	544	Biru	± 7
10	90	632	Biru	± 6

Berdasarkan data yang didapatkan lama nyala lama api yang paling sebentar yaitu pada limbah kayu akasia sedangkan lama nyala api paling lama yaitu pada limbah tempurung kelapa sawit. Ini berarti variasi bahan baku tempurung kelapa sawit lebih optimal untuk menghasilkan *syngas* atau gas produksi dibanding variasi bahan baku limbah kayu akasia. Semakin lama nyala api maka semakin optimal *syngas* yang dihasilkan karena jumlah selulosa yang terkandung di dalam biomassa semakin besar dan diubah menjadi *syngas* atau pembuatan gas [9].

3.2. Pengaruh Variasi Bahan Baku Terhadap Stabilitas Nyala Engine

Engine pada alat gasifikasi merupakan *engine* dengan siklus kerja empat langkah (4T), yaitu mengoksidasi bahan baku dalam bentuk gas. Keberhasilan proses gasifikasi selain adanya nyala api pada *fire test* juga ditandai dengan *engine* dapat menyala dengan menggunakan bahan baku *syngas* hasil dari proses gasifikasi.

Diketahui dari penelitian yang dilakukan stabilitas nyala *engine* diuji selama 5 menit. Didapatkan bahwa variasi bahan baku limbah kayu akasia memiliki stabilitas nyala *engine* pada menit ke-30 tidak stabil, pada menit ke-60 tidak stabil, dan pada menit ke-90 stabil. Sedangkan pada variasi bahan baku tempurung kelapa sawit stabilitas nyala *engine* pada menit ke-30 yaitu tidak stabil, pada menit ke-60 stabil dan pada menit ke-90 tetap stabil. Sehingga dapat disimpulkan variasi bahan baku yang paling optimum untuk menyalakan *engine* adalah tempurung kelapa sawit. Untuk data pengaruh variasi bahan baku terhadap stabilitas nyala *engine* dapat diamati pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. Data Variasi Bahan Baku Limbah Kayu Akasia Terhadap Stabilitas Nyala Engine

Berat Bahan Baku (Kg)	Stabilitas Nyala Engine
10	Tidak Stabil
10	Tidak Stabil
10	Stabil

Tabel 4. Data Variasi Bahan Baku Limbah Kayu Akasia Terhadap Stabilitas Nyala Engine

Berat Bahan Baku (Kg)	Stabilitas Nyala Engine
10	Tidak Stabil
10	Stabil
10	Stabil

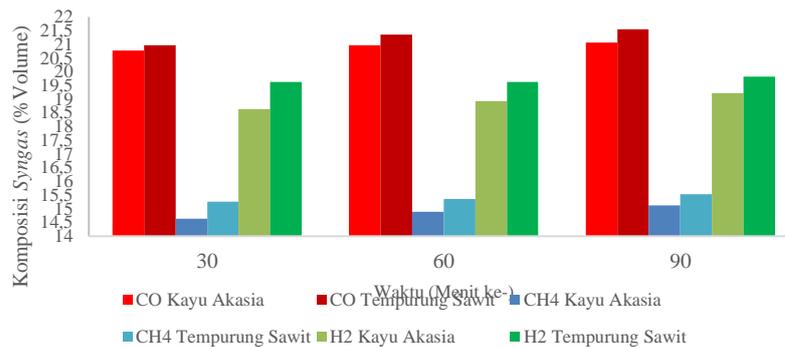
Kestabilan *engine* juga dipengaruhi bahan baku yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria yaitu, berukuran 0,5 - 5 cm, kadar air <15%, dan tidak mengandung banyak debu. Berdasarkan penelitian, dapat diketahui bahwa bahan baku yang tidak dilakukan proses preparasi (pengeringan dan pengayakan), pada saat digunakan sebagai umpan gasifikasi tidak menghasilkan *syngas*, yang dibuktikan dengan tidak adanya nyala api saat dilakukan uji nyala pada *fire test*. Selain itu pemilihan baku sangat berpengaruh pada proses gasifikasi, penggunaan bahan baku yang mengandung kadar *volatile* dan abu yang tinggi akan menghasilkan tar dan *slaging*, sehingga mengurangi efisiensi proses gasifikasi [10].

Kendala lain yang terjadi pada proses gasifikasi adalah penyumbatan yang terjadi pada *screw*, jumlah umpan yang digunakan tidak direkomendasikan terlalu banyak (>20 kg) didalam *hopper*, dikarenakan beban *screw* akan meningkat dan menyebabkan *screw* tidak bekerja optimal (secara otomatis). Sebaliknya jika bahan baku didalam *hopper* terlalu sedikit (<5 Kg) maka proses gasifikasi tidak berjalan dengan semestinya. Ukuran dan tekstur bahan baku tentu mempengaruhi kinerja *screw*, umpan yang bertekstur lunak memiliki tegangan geser yang kecil sehingga memperbesar peluang terjadinya pemadatan yang mengakibatkan penyumbatan pada

screw. Selain itu, pengoperasian *blower* yang tidak optimal, mengakibatkan *syngas* yang seharusnya mengalir ke *fire test*, tertahan di gasifier. Adanya tar yang tertahan di area impeller (pada *blower*) merupakan penyebab *syngas* tidak terfluidisasi seluruhnya ke *fire test* ataupun ke *engine*.

3.3. Pengaruh Variasi Bahan Baku Terhadap Komposisi Syngas

Data pengaruh variasi bahan baku dengan waktu proses yang sama terhadap komposisi *syngas* disajikan dalam gambar 2.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Komposisi Syngas Limbah Kayu Akasia dan Tempurung Kelapa Sawit

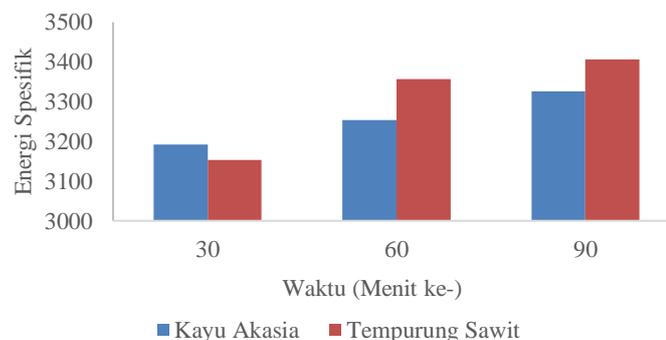
Berdasarkan grafik pada Gambar 1, terlihat bahwa gas mudah terbakar (*combustible gas*) akan mengalami kenaikan dengan perbedaan variasi bahan baku yang digunakan. Gas mudah bakar pada variasi bahan baku tempurung sawit memiliki komposisi yang lebih baik dari pada variasi bahan baku menggunakan kayu akasia. Hal ini dikarenakan variasi bahan baku tempurung sawit memiliki nilai kalor yang lebih tinggi, yaitu sebesar 5281,58 kal/gr dan kandungan air (*moisture*) yang lebih rendah yaitu 6,12%. Sedangkan variasi bahan baku kayu akasia memiliki nilai kalor sebesar 3998,95 kal/gr dan kadar air sebesar 12,84%.

Pratama 2019 [11] menyatakan bahwa semakin rendah kadar air bahan baku dan dengan semakin tingginya nilai kalor yang dimiliki bahan baku dapat mempengaruhi lama nyala api dari *syngas* yang dihasilkan.

Selain itu juga hasil perhitungan nilai kalor dipengaruhi oleh kandungan gas CH₄ (metana) di dalamnya. Diketahui bahwa dari hasil penelitian kondisi *syngas* yang paling optimum yaitu pada bahan baku tempurung kelapa sawit di menit ke-90 dengan kandungan CH₄ (metana) 15,5388%. Sehingga *syngas* yang dihasilkan pada menit ke-90 dengan bahan baku tempurung kelapa sawit memenuhi parameter keberhasilan (lama dan warna nyala api serta stabilitas nyala *engine*) *syngas* terbaik dibanding hasil lainnya. Hal ini dikarenakan komposisi utama yang terkandung dalam *syngas* adalah gas metana dan juga nilai kalor gas metana yang tinggi dibandingkan gas hidrogen [12].

3.4. Pengaruh Energi Spesifik dengan Variasi Bahan Baku Terhadap Waktu

Data pengaruh variasi bahan baku terhadap energi spesifik disajikan dalam gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Energi Spesifik Bahan Baku Limbah Kayu Akasia dan Tempurung Kelapa Sawit

Berdasarkan grafik pada Gambar 2. terlihat bahwa energi spesifik yang dihasilkan semakin besar dengan variasi bahan baku tempurung kelapa sawit. Hal ini dipengaruhi oleh kadar air bahan baku dan nilai kalor yang terkandung pada bahan baku, selain itu kepadatan bahan baku juga mempengaruhi energi spesifik yang dihasilkan. Semakin padat bahan baku yang dimasukkan pada reaktor mempengaruhi besarnya laju alir massa bahan baku yang masuk sedangkan laju alir massa udara yang masuk itu konstan, akan menurunkan rasio udara-bahan baku, yang menyebabkan udara yang masuk kedalam reaktor gasifikasi ini berkurang, sehingga akan terbentuk sedikit gas yang sukar terbakar (O_2 , N_2 , CO_2) sedangkan gas yang mudah terbakar (CO , H_2 , CH_4) bertambah. Gas yang mudah terbakar yang bertambah inilah yang menyebabkan total HHV *syngas* membesar sehingga energi spesifik yang dihasilkan semakin tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil proses penelitian maka dapat diambil kesimpulan bahwa bahan baku dengan menggunakan tempurung kelapa sawit merupakan bahan baku yang lebih optimum karena kandungan komposisi flammable gass pada *syngas* yang dihasilkan paling tinggi dan ditandai dengan karakteristik nyala api berwarna biru, waktu nyala paling lama ± 6 menit, dan nyala *engine* stabil, Diperoleh produk *syngas* dari proses gasifikasi downdraft sebagai gas bakar untuk menghidupkan motor bakar empat tak, dan Energi Spesifik yang dihasilkan semakin besar dengan meningkatnya berat bahan baku. Nilai energi spesifik yang dihasilkan paling tinggi yaitu 3406,0561 kJ/mol dengan menggunakan variasi bahan baku tempurung kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Prabir, *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design*, Elsevier.Inc, United States, 2010.
- [2] Red and Das, *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*, Colorado, US : Solar Energi Research Institute, 1981.
- [3] W. Hermawati, I. M. I. Rosaria, and P. Alamsyah, P, "Sumber Daya Biomassa Potensi Energi Indonesia yang Terabaikan," 2014.
- [4] L. F. Maulana, I. H. Ghozali, M. H. Fikri, E. I. Agustina, and M. Ali, "Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Didesa Ranjok Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat Menjadi Biomass Pellet Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal PEPADU*, vol. 1, no. 1, pp. 133–138, 2020. doi: <https://doi.org/10.29303/jurnalpepadu.v1i1.87>
- [5] S. S. Pratiwi, "Pengaruh Waktu Perendaman dan Konsentrasi H_3PO_4 Terhadap Proses Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit Untuk Mengolah POME (Palm Oil Mill Effluent)," Skripsi. Palembang. Politeknik Negeri Sriwijaya, 2014
- [6] Anonim, *Potensi Limbah Biomassa Pertanian dan Kehutanan di Indonesia*, 2018.
- [7] A. K. Rajvanshi, "Biomass gasification," *Alternative energy in agriculture*, vol. 2, no. 4, pp. 82-102, 1986.
- [8] S. R. Turns, *an introduction to combustion concept and application (Vol. 287, p. 569)*. New York, NY, USA: McGraw-Hill Companies, 1996.
- [9] M. Maryudi, and A. Aktawan, "Produksi Bahan Bakar Gas dari Gasifikasi Limbah Kayu Sengon," *Prosiding SNTK Eco-SMART*, vol. 1, no. 1.
- [10] F. Agustianti, "Gasifikasi Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Gas Bakar Pada Motor Bakar Empat Tak," Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2016.
- [11] I. P. A. Y. Pratama, I. N. S. Winaya, and I. G. P. A. Suryawan, "Uji Reaktor Gasifikasi Downdraft Biomassa Sampah Kota," *Jurnal METTEK*, vol. 5, no. 2, pp. 110-118, 2019.
- [12] D. B. Prabowo, "Pengaruh Penambahan Katalis Bentonit Pada Gasifikasi Updraft Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Hasil Syngas," Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya, 2018.