

## **Analisis Kandungan Energi Syngas dari Gasifikasi Biomassa Sampah Pasar Menggunakan Metode Uji Boilling Test**

**Ismail Azis<sup>1</sup>, Yolli Fernanda<sup>2</sup>, Refdinal<sup>3</sup>, Dori Yuvenda<sup>4</sup>**

<sup>1234</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang  
Email: [ismailazis100202@gmail.com](mailto:ismailazis100202@gmail.com)

### **Abstrak**

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk dan perkembangan industri, sedangkan suplai energi mulai menipis. Akibatnya ketersediaan energi menjadi langka. Biomassa sebagai energi terbarukan memberikan solusi yang efektif untuk menghasilkan energi. Penelitian ini melakukan pengujian untuk mengetahui performa dan kinerja gasifikasi dengan empat jenis variasi bahan bakar berbasis biomassa antara lain pellet kayu 100%, campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu dengan perbandingan volume 1:1, campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 2:1, serta pellet sampah pasar 100% menggunakan alat downdraf gasifier. Metode penelitian ini merupakan uji eksperimental karena melibatkan pengujian langsung untuk mengukur temperatur gasifikasi, waktu gasifikasi, nyala api efektif, serta suhu air yang dipanaskan menggunakan uji titik didih/ boiling test. Hasilnya menunjukkan bahwa pellet kayu memberikan kinerja terbaik dalam hal stabilitas pembakaran, rendeman syngas, dan menghasilkan nilai kalor yang tinggi dengan waktu nyala api efektif selama 85 menit. Campuran pellet kayu dan pellet sampah pasar 1:1 menghasilkan syngas dengan nyala api efektif selama 15 menit. Sedangkan campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu dengan perbandingan volume 2:1 menghasilkan syngas dengan waktu nyala api efektif selama 25 menit. Sementara itu, pellet sampah pasar memberikan peluang untuk memanfaatkan limbah pasar menjadi energi walaupun menghasilkan syngas dan nilai kalor yang rendah, tercatat waktu gasifikasi selama 25 menit namun, tidak efektif dalam menyalakan api. Selain itu campuran bahan bakar yang lain perlu dikaji untuk menawarkan potensi untuk menghasilkan energi yang relevan demi keberlanjutan lingkungan hidup.

**Kata kunci:** *Biomassa, Gasifikasi, Downdraf Gasifier, Syngas, Pellet kayu, Pellet Sampah Pasar, Efisiensi Pembakaran, Boilling Test.*

### **Abstract**

Energy demand in Indonesia continues to increase in line with population growth and industrial development, while energy supply is starting to run low. As a result, the availability of energy becomes scarce. Biomass as a renewable energy provides an effective solution to produce energy. This study conducted tests to determine the performance and gasification

performance with four types of biomass-based fuel variations, including 100% wood pellets, a mixture of market waste pellets and wood pellets with a volume ratio of 1:1, a mixture of market waste pellets and 2:1 wood pellets, and 100% market waste pellets using a gasifier downdraft tool. This research method is an experimental test because it involves direct testing to measure gasification temperature, gasification time, effective flame, and temperature of heated water using a boiling point test. The results show that the wood pellets provide the best performance in terms of combustion stability, syngas yield, and produce a high calorific value with an effective flame time of 85 minutes. A 1:1 mixture of wood pellets and market waste pellets produces syngas with an effective flame for 15 minutes. Meanwhile, a mixture of market waste pellets and wood pellets with a volume ratio of 2:1 produces syngas with an effective flame time of 25 minutes. Meanwhile, market waste pellets provide an opportunity to utilize market waste into energy even though it produces syngas and low calorific value, recorded gasification time of 25 minutes but is not effective in starting fires. In addition, other fuel mixtures need to be studied to offer the potential to produce relevant energy for environmental sustainability.

**Keywords:** *Biomass, Gasification, Downdraft Gasifier, Syngas, Wood Pellets, Market Waste Pellets, Combustion Efficiency, Boilling Test.*

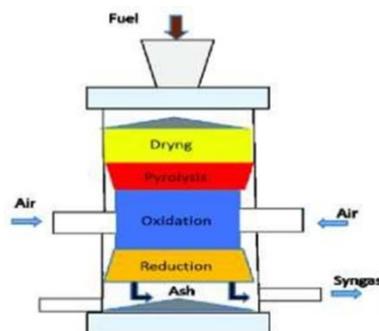
## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi Indonesia meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan industri sedangkan suplai energi rendah. Akibatnya ketersediaan energi menjadi langka. Salah satu sektor yang merasakan kekurangan energi ini adalah rumah tangga. Haryana, A. (2019). Energi dari biomassa adalah sumber energi alternatif Namun, Teknologi yang memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi belum berkembang dengan baik. Sehingga untuk mengatasi permasalahan ini diperlukan teknologi untuk mengkonversi biomassa menjadi energi. Amrullah, A. (2020).

Biomassa terdiri dari berbagai senyawa organik, terutama karbohidrat, lemak, dan protein. Senyawa utama pembentuk biomassa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang membentuk dinding sel pada tumbuhan. Biomassa memiliki beragam manfaat antara lain sebagai pangan, pakan ternak, pembuatan minyak nabati, pembuatan bahan bangunan, dan sebagai bahan bakar atau energi. Biomassa dapat diperoleh dari pertanian, perkebunan, limbah industri dan kotoran hewan. (Chew & Doshi, 2011).

Gasifikasi biomassa telah diupayakan untuk mengkonversi biomassa menjadi energi. Peralatan yang digunakan untuk proses ini dikenal sebagai gasifier. Gasifikasi adalah proses termokimia yang menghasilkan gas yang mudah terbakar dengan pembakaran tidak sempurna bahan berkarbon seperti biomassa pada suhu tinggi. Rinovianto, G. (2012). Gas yang dihasilkan merupakan campuran karbon monoksida, hidrogen (H), metana CH<sub>4</sub>, karbon dioksida (CO), nitrogen (N), dan uap air dan disebut sebagai gas sintetis (syngas) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri). (Hamni et al., 2014). Gasifier downdraf merupakan pilihan terbaik untuk memproduksi syngas dengan tingkat tar dan partikulat yang sangat rendah dibandingkan dengan jenis gasifier lainnya sehingga dapat menghasilkan panas yang terdesentralisasi. (Sheth & Babu, 2009).

Downdraft gasifier merupakan jenis gasifikasi yang dirancang agar dapat membatasi kandungan tar dan minyak. Pada downdraft gasifier ini aliran udara searah dengan aliran bahan bakar. Dimulai dari masuknya bahan bakar di bagian atas gasifier, maka akan terjadi proses pengeringan dan pirolisis bahan bakar akibat panas yang dihasilkan dari reaksi oksidasi. Pada tahap pirolisis, uap dan tar dihasilkan. Selanjutnya, uap dan tar yang dihasilkan akan melewati lapisan arang panas dan mengalami perengkahan menjadi gas sederhana. Pada reaksi reduksi yang terjadi gas produser yang dihasilkan akan tertarik keluar menuju bagian bawah gasifier (Satria Prasetya DY et al., 2015a). Berikut tahapan proses gasifikasi pada gasifier yang terdapat pada gambar dibawah ini:



Penelitian lebih lanjut tentang gasifikasi pellet kayu dan pellet sampah pasar perlu dikaji. Namun, sebelum dapat dimanfaatkan secara optimal, penting untuk menganalisis kandungan energi yang terkandung dalam syngas hasil gasifikasi sampah pasar. Salah satu metode yang digunakan untuk mengukur kandungan energi ini adalah uji boiling test. Uji ini memberikan gambaran praktis mengenai daya panas yang dapat dihasilkan oleh syngas. Dalam uji ini, energi yang terkandung dalam syngas akan digunakan untuk memanaskan air hingga mendidih, dan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mencapai titik didih tersebut akan dihitung. Hasil uji ini memberikan informasi penting mengenai nilai kalor atau energi yang terkandung dalam syngas, yang menjadi acuan dalam menentukan potensi energi yang dapat dihasilkan.

## METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental karena melibatkan pengujian langsung terhadap variabel-variabel yang tercakup dan terkontrol untuk mengevaluasi hasil gasifikasi yang dilakukan menggunakan downdraft gasifier. Gasifikasi dilakukan terhadap bahan bakar pellet kayu 100%, campuran pellet kayu dan pellet sampah pasar 1:1, pellet sampah pasar dan pellet kayu 2:1, serta pellet sampah pasar 100% untuk melihat kemampuan biomassa ini menghasilkan syngas pada proses gasifikasi.

Data dari penelitian ini dikumpulkan melalui proses observasi eksperimen langsung menggunakan alat gasifier untuk mengetahui temperatur gasifikasi dan syngas yang dihasilkan. Alat uji yang sudah dirancang dalam penelitian ini yaitu downdraft gasifier, timbangan digunakan untuk mengukur banyak biomassa yang digasifikasi, dan termocouple untuk mengetahui temperatur selama proses gasifikasi, sedangkan bahan

bakar yang digunakan yaitu biomassa yang dibuat menjadi pellet kayu dan pellet sampah pasar. Gasifikasi ini bertujuan melihat kemampuan biomassa tersebut menghasilkan syngas dan mengetahui lama nyala api efektif, maka akan dilakukan uji titik didih/ boiling test.

Untuk menghitung nilai kalor yang dihasilkan dari proses gasifikasi, pada penelitian ini menggunakan metode boiling test. Metode boiling test dilakukan dengan memanaskan air dengan api dari syngas hasil gasifikasi. Temperatur air akan meningkat dan air akan mendidih, maka kita dapat menghitung nilai kalor dari syngas yang dihasilkan menggunakan rumus:

$$Q_{bt} = (m_{air} \times C \times \Delta T) + m_{uap\ air} \times f_g$$

Keterangan:

$Q_{bt}$  = Nilai kalor pada *boiling test*

$m_{air}$  = massa air yang dipanaskan (kg)

$C$  = kalor jenis air (4,186 kJ/kg.K)

$\Delta T$  = selisih suhu air akhir dan awal (K)

$m_{bahan\ bakar}$  = massa bahan bakar yang digunakan (kg)

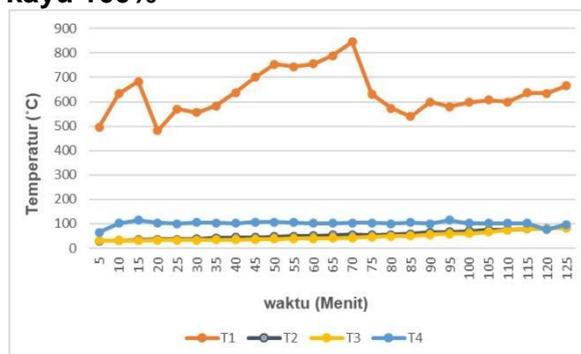
$f_g$  = Panas laten penguapan air (2260 kJ/kg)

Prosedur penelitian ini mencakup beberapa tahapan yaitu, tahap awal dimulai persiapan alat dan bahan, pengujian, pengambilan data, dan analisis data untuk mendapatkan kesimpulan. Hasil penelitian ini berupa temperatur gasifikasi, waktu gasifikasi, temperatur air yang dipanaskan selama gasifikasi, dan visualisasi pembakaran syngas yang dihasilkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diuji dengan melakukan gasifikasi terhadap bahan bakar pellet kayu 100%, campuran pellet kayu dan pellet sampah dengan perbandingan volume 1:1, pellet sampah pasar dan pellet kayu dengan perbandingan volume 2:1, serta pellet sampah pasar 100%. Setiap proses gasifikasi diukur suhunya dan dihitung lama waktu gasifikasi serta melakukan uji nyala api.

### Hasil Gasifikasi Pellet kayu 100%



Grafik diatas menunjukkan temperatur 1 (oksidation zone), temperatur 2 (pyrolysis zone), temperatur 3 (drying zone), serta temperatur 4 merupakan suhu air yang dipanaskan pada proses gasifikasi terhadap gasifier. Gasifikasi pellet kayu dilakukan dengan mengisi pellet kayu sampai penuh ke dalam reaktor dengan massa yang didapat yaitu 3890 gram dan pada pengujian catat lama waktu penelitian. Pada awal ignition dibutuhkan waktu selama 5 menit untuk menaikkan suhu dalam gasifier pada proses gasifikasi.



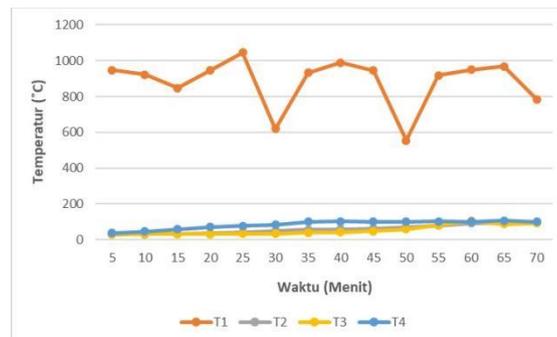
Gambar nyala api pellet kayu 100%

Gambar diatas menunjukkan nyala api dari gasifikasi pellet kayu terhadap syngas yang dihasilkan. Dari hasil pengujian didapatkan waktu gasifikasi yaitu selama 140 menit dengan waktu nyala efektif selama 85 menit.

Untuk menghitung nilai kalor digunakan metode boiling test. Gasifikasi pellet kayu 100% dilakukan dengan menggasifikasi pellet kayu sebanyak 3,845 kg. Kemudian syngas hasil dari gasifikasi dibakar dan digunakan untuk memanaskan air sebanyak 3,12 kg. Suhu awal air yaitu 28°C. Setelah proses gasifikasi selesai, didapatkan air yang tersisa sebanyak 1,15 kg.

$$\begin{aligned} Q_{bt} &= (3,12 \text{ kg} \times 4,186 \text{ kJ/kg.K} \times 86,5 \text{ K}) + (1,97 \text{ kg} \times 2260 \text{ kJ/kg}) \\ &= 1.129,72 \text{ kJ} + 4.452,2 \text{ kJ} \\ &= 5.581,92 \text{ kJ} \end{aligned}$$

### Hasil Gasifikasi Campuran Pellet Kayu dan Pellet Sampah Pasar dengan Perbandingan Volume 1:1



Grafik diatas menunjukkan data hasil gasifikasi campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 1:1 dan total bahan bakar sebanyak 6 liter dengan menampilkan temperatur pada oksidation zone (T1), suhu pyrolisis zone (T2), dan suhu drying zone (T3). Terlihat temperatur pada T1 yang fluktuatif dikarenakan temperatur pembakaran biomassa yang tidak stabil. Sedangkan pada T2 dan T3 yang naik secara konstan sampai bahan bakar habis.



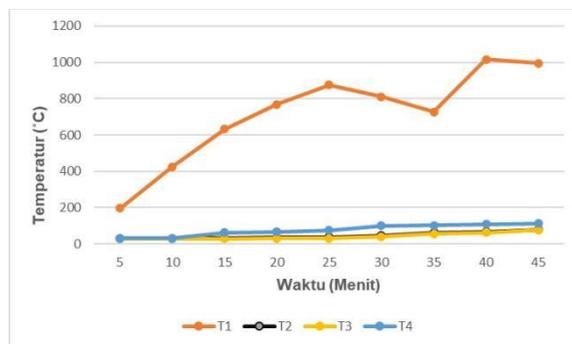
Gambar Nyala Api Pellet Sampah Pasar dan Pellet Kayu 1:1

Gambar diatas menunjukkan hasil pada gasifikasi pellet sampah pasar dan pellet kayu 1:1 dengan menampilkan bentuk nyala api dari syngas yang dihasilkan. Dari hasil pengujian tercatat waktu gasifikasi yaitu selama 105 menit dengan waktu nyala efektif selama 15 menit.

Untuk menghitung nilai kalor digunakan metode boiling test. Gasifikasi Campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 1:1 dilakukan dengan menggasifikasi bahan bakar sebanyak 2,108 kg. Kemudian syngas hasil dari gasifikasi dibakar dan digunakan untuk memanaskan air sebanyak 2,6 kg. Suhu awal air yaitu 28°C. Setelah proses gasifikasi selesai, didapatkan air yang tersisa sebanyak 1,27 kg.

$$\begin{aligned} Q_{bt} &= (2,6 \text{ kg} \times 4,186 \text{ kJ/kg.K} \times 79,5 \text{ K}) + (1,33 \text{ kg} \times 2260 \text{ kJ/kg}) \\ &= 865,25 \text{ kJ} + 2.870,2 \text{ kJ} \\ &= 3.735,45 \text{ kJ} \end{aligned}$$

### Hasil Gasifikasi Pellet Sampah Pasar dan Pellet Kayu dengan Perbandingan Volume 2:1



Grafik diatas menunjukkan data hasil gasifikasi campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 2:1 dan total bahan bakar sebanyak 6 liter dengan menampilkan temperatur pada oksidation zone (T1), suhu pyrolisis zone (T2), dan suhu drying zone (T3). Terlihat temperatur pada T1 yang fluktuatif dikarenakan temperatur pembakaran biomassa yang tidak stabil. Sedangkan pada T2 dan T3 yang naik secara konstan sampai bahan bakar habis.



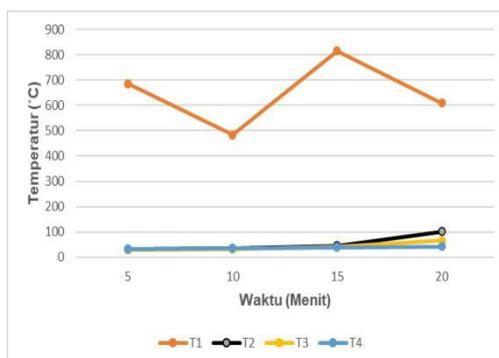
Gambar Nyala Api pellet Sampah Pasar dan Pellet kayu 2:1

Gambar diatas menunjukkan hasil pada gasifikasi pellet sampah pasar dan pellet kayu 2:1 dengan menampilkan bentuk nyala api dari syngas yang dihasilkan. Dari hasil pengujian tercatat waktu gasifikasi yaitu selama 80 menit dengan waktu nyala efektif selama 25 menit.

Untuk menghitung nilai kalor digunakan metode boiling test. Gasifikasi Campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 2:1 dilakukan dengan menggasifikasi bahan bakar sebanyak 1,586 kg. Kemudian syngas hasil dari gasifikasi dibakar dan digunakan untuk memanaskan air sebanyak 2,585 kg. Suhu awal air yaitu 28°C. Setelah proses gasifikasi selesai, didapatkan air yang tersisa sebanyak 2,23 kg.

$$\begin{aligned} Q_{bt} &= (2,585 \text{ kg} \times 4,186 \text{ kJ/kg.K} \times 83,7 \text{ K}) + (0,355 \text{ kg} \times 2260 \text{ kJ/kg}) \\ &= 905,7 \text{ kJ} + 802,3 \text{ kJ} \\ &= 1.708 \text{ kJ} \end{aligned}$$

#### Hasil Gasifikasi Pellet Sampah Pasar 100%



Grafik diatas menunjukkan hasil gasifikasi pellet sampah pasar 100% dan total bahan bakar sebanyak 6 liter dengan menampilkan temperatur pada oksidation zone (T1), suhu pyrolisis zone (T2), dan suhu drying zone (T3). Terlihat temperatur pada T1 yang fluktuatif dikarenakan temperatur pembakaran biomassa yang tidak stabil. Sedangkan pada T2 dan T3 yang naik secara konstan sampai bahan bakar habis.



Gambar Nyala Api Pellet Sampah Pasar 100%

Gambar diatas menunjukkan hasil gasifikasi pellet sampah pasar 100% dengan menampilkan bentuk nyala api dari syngas yang dihasilkan. Dari hasil pengujian tercatat waktu gasifikasi selama 25 menit dan terlihat bahwa kemampuan nyala api tidak efektif untuk menyalakan api.

Untuk menghitung nilai kalor digunakan metode boiling test. Gasifikasi pellet sampah pasar 100% dilakukan dengan menggasifikasi bahan bakar sebanyak 0,540 kg. Kemudian syngas hasil dari gasifikasi dibakar dan digunakan untuk memanaskan air sebanyak 2,06 kg. Suhu awal air yaitu 28°C. Setelah proses gasifikasi selesai, didapatkan air yang tersisa sebanyak 2,06 kg.

$$Q_{bt} = (2,06 \text{ kg} \times 4,186 \text{ kJ/kg.K} \times 13 \text{ K}) \\ = 112,1 \text{ kJ}$$

### Pembahasan

Pellet kayu merupakan bahan bakar padat yang berasal dari sisa-sisa kayu yang dipadatkan menjadi bentuk yang serupa/seragam. Dengan kadar air yang rendah dan kepadatan yang tinggi, pellet kayu dapat menghasilkan nilai kalor yang baik, stabilitas pembakaran yang cukup baik, serta efisiensi yang tinggi dalam proses gasifikasi dengan mengetahui nyala api efektif didapatkan selama 85 menit. Sementara itu pellet sampah pasar berasal dari limbah pasar berupa sisa-sisa sayur sayuran dan buah-buahan yang diolah dan dibuat menjadi pellet supaya memiliki tekstur yang lebih padat. Jika dicampur dengan pellet kayu dengan perbandingan volume 2:1 didapatkan hasil efisiensi gasifikasi, stabilitas pembakaran yang cukup baik, serta nilai kalor yang cukup tinggi; campuran ini menghasilkan nyala api efektif selama 25 menit sehingga bisa mendekati performa dari bahan bakar pellet kayu murni. Selain itu, pellet sampah pasar 100% membuka peluang untuk pemanfaatan limbah pasar

menjadi energi meskipun menghasilkan efisiensi dan nilai kalor yang rendah dibandingkan bahan bakar yang lain, diketahui waktu gasifikasi selama 25 menit dan tidak efektif untuk menyalakan api; bahan bakar ini perlu di teliti lebih lanjut guna menghasilkan syngas yang lebih baik dari sebelumnya.

## **SIMPULAN**

Pada penelitian gasifikasi empat jenis variasi bahan bakar pellet kayu 100%, campuran pellet kayu dan pellet sampah pasar 1:1, campuran pellet sampah pasar dan pellet kayu 2:1, dan pellet sampah pasar 100% sudah terbukti bahwa masing-masing bahan bakar memiliki perbedaan yang signifikan dalam hal stabilitas pembakaran, kemampuan menghasilkan syngas, nyala api efektif, dan nilai kalor yang tinggi supaya bisa menjadikan sebuah proses gasifikasi yang efisien. Campuran pellet kayu dan pellet sampah pasar 1:1 memberikan keseimbangan yang baik antara efisiensi energi dan stabilitas pembakaran; campuran ini dapat menghasilkan syngas yang baik dan nilai kalor yang cukup tinggi walaupun mendapatkan hasil waktu nyala api efektif yang lebih singkat dibandingkan bahan bakar yang lain. Sedangkan pellet sampah 100% pasar membuka peluang untuk pemanfaatan limbah pasar untuk menghasilkan energi meskipun menghasilkan syngas dan nilai kalor yang rendah; untuk bahan bakar ini diperlukan penelitian lebih lanjut guna untuk menghasilkan syngas yang lebih baik. Secara keseluruhan, bahan bakar pellet kayu 100% tetap menjadi pilihan terbaik dalam hal menghasilkan syngas dan nilai kalor yang tinggi sehingga dapat menghasilkan nyala api efektif yang relatif lebih lama. Selain itu, campuran bahan bakar lain perlu dilakukan pengujian supaya bisa dimanfaatkan untuk keberlanjutan lingkungan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Amrullah, A. (2020). HKI" Biomassa Lahan Basah Kajian Pustaka Karakteristik Biomasa Dan Teknologi Konversi Untuk Energi Terbarukan".
- Basu, P. (2013). Gasification theory. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction, 199-248.
- Chew, J. J., & Doshi, V. (2011). Recent advances in biomass pretreatment - Torrefaction fundamentals and technology. In Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 15, Issue 8, pp. 4212–4222). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.017>
- Haryana, A. (2019). Pengembangan penggunaan energi biomassa pada sektor rumah tangga dan dampaknya pada beban subsidi elpiji dan kesehatan keluarga miskin. Bappenas Working Papers, 2(2), 176-190.
- Rinovianto, G. (2012). Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet.
- Satria Prasetya DY, G. N., Sucipta, M., Nyoman Suprpta Winaya, dan I., & Bukit Jimbaran, K. (2015a). Perancangan Gasifikasi Downdraft dengan Variasi Laju Aliran Oksigen sebagai Agen Gasifikasi (Vol. 1, Issue 2).

- Sheth, P. N., & Babu, B. V. (2009). Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier. *Bioresource Technology*, 100(12), 3127–3133. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.024>
- Subroto. (2017). Kinerja Tungku Gasifikasi Downdraft Continue Bahan Bakar Sekam Padi. *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 18(1), 24–33.
- Sudarmanta, B., Murtadji, B., Firsta, D., & Jurusan, W. (n.d.). Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Sekam Padi Menggunakan Reaktor Downdraft dengan Dua Tingkat Lualan Udara.
- Vidian, F. (2008). Gasifikasi tempurung kelapa menggunakan updraft gasifier pada beberapa variasi laju alir udara pembakaran. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 88-93.