

PERANCANGAN REAKTOR GASIFIKASI *DOWNDRAFT* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA LIMBAH SEKAM PADI KAPASITAS 5 KW: STUDI KASUS DI DESA KALINUSU KABUPATEN BREBES

M. Alfian Setiawan¹, Trisma Jaya Saputra², Rany Puspita Dewi
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tidar

alfanswn@gmail.com¹, trismajayasaputra@untidar.ac.id², ranypuspita@untidar.ac.id³

ABSTRAK

Akses jalan menuju Dusun Kedung Kandri, Desa Kalinusu sepanjang 2,2 km belum terpasang lampu penerangan jalan, sehingga banyak keluhan dari masyarakat ketika melewatinya pada malam hari. Salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut yaitu melalui pemasangan lampu dengan jarak 25 m dengan daya setiap lampu 50 watt, sehingga total daya yang dibutuhkan sebesar 4,4 kW. Sumber listrik dapat diperoleh melalui pemanfaatan biomassa melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). Desa Kalinusu memiliki lahan sawah dengan luas 539,14 ha, dapat diprediksi memproduksi padi sekitar 2755,44 ton setiap satu kali panen dan limbah sekam padi yang mampu dihasilkan sekitar 1102,18 ton. Ketersediaan biomassa dalam bentuk limbah sekam padi, merupakan potensi yang dimiliki Desa Kalinusu untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). Penelitian ini bertujuan untuk merancang reaktor gasifikasi *downdraft* sebagai komponen utama sehingga dapat menjadi rekomendasi rancangan pembangunan PLTBm oleh pemerintah Desa Kalinusu. Hasil dari perancangan reaktor gasifikasi *downdraft* memiliki diameter 35 cm dan tinggi 88 cm dengan dilengkapi *throat* berdiameter 14 cm serta terdapat 3 nosel udara yang terletak pada ketinggian 12,6 cm di atas *throat*. Laju konsumsi bahan bakar reaktor memiliki kapasitas 10,7 kg/jam sehingga reaktor beroperasi dalam sistem *batch*. Daya *output* yang dihasilkan dari perancangan reaktor gasifikasi *downdraft* adalah sebesar 5,2 kW, sehingga mampu untuk mengoperasikan generator dengan kapasitas 5 kW.

Kata kunci: reaktor gasifikasi, *downdraft*, daya *output*, sekam padi.

ABSTRACT

The road access to Kedung Kandri Hamlet, Kalinusu Village is 2.2 km long and there is no street lighting installed, so there are many complaints from the public when passing through it at night. One solution to overcome this is through the installation of lamps with a distance of 25 m with a power of 50 watts per lamp, so that the total power required is 4.4 kW. The electricity source can be obtained through the use of biomass through the Biomass Power Plant (PLTBm) system. Kalinusu Village has a rice field area of 539.14 ha, it can be predicted to produce around 2755.44 tons of rice per harvest and rice husk waste that can be produced around 1102.18 tons. The availability of biomass in the form of rice husk waste is a potential owned by Kalinusu Village to be used as fuel for a Biomass Power Plant (PLTBm). This study aims to design a downdraft gasification reactor as the main component so that it can be a recommendation for the design of PLTBm development by the Kalinusu Village government. The results of the design of the downdraft gasification reactor have a diameter of 35 cm and a height of 88 cm, equipped with a 14 cm diameter throat and 3 air nozzles located at a height of 12.6 cm above the throat. The fuel consumption rate of the reactor has a capacity of 10.7 kg/hour so that the reactor operates in a batch system. The output power resulting from the design of the downdraft gasification reactor is 5.2 kW, so that it is able to operate a generator with a capacity of 5 kW.

Keyword: *gasification reactor, downdraft, output power, rice husk.*

PENDAHULUAN

Desa Kalinusu berada di Kecamatan Bumiayu yang merupakan bagian dari wilayah Kabupaten Brebes Provinsi Jawa Tengah dengan jarak tempuh 73,69 km² dari pusat Kabupaten Brebes (BPS Kabupaten Brebes, 2016). Salah satu dusun di Desa Kalinusu yakni Dusun Kedung Kandri baru terbebas dari terisolir selama 75 tahun dengan dibangunnya akses jalan terdekat menuju

dusun tersebut sepanjang 2,2 km yang sebelumnya mencapai 8 km (Aminah, 2020).

Akses jalan tersebut tidak terdapat lampu penerangan jalan, karena suplai aliran listrik ke permukiman warga tidak melewati jalan tersebut, maka untuk mengantisipasi masalah tersebut dibutuhkan lampu penerangan jalan. Jika asumsi jarak pemasangan lampu 25 (Hidayat, *et al.*, 2021) m dan daya setiap lampu sebesar 50 watt maka total

daya yang dibutuhkan sebesar 4,4 kW. Jalan menuju Dusun Kedung Kandri Desa Kalinusu ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jalan menuju Dusun Kedung Kandri (Kodim Brebes, 2020).

Luas panen padi di Indonesia pada tahun 2020 sebesar 10,79 juta ha dan produksi padi sebesar 55,16 juta ton (BPS, 2020). Luas sawah 539,14 ha di Desa Kalinusu sehingga dapat diprediksi memproduksi padi sekitar 2755,44 ton. Limbah sekam padi yang dihasilkan biasanya sebanyak 40% (Agung, *et al.*, 2010), sehingga dengan 2755,44 ton produksi padi di Desa Kalinusu dapat diprediksi juga menghasilkan 1102,18 ton limbah sekam padi. Tanaman padi biasanya panen tiap tiga bulan sekali (Dany, 2017), sehingga Desa Kalinusu mampu menghasilkan limbah sekam padi sebanyak 4408,72 ton dalam setahun.

Ketersediaan biomassa dalam bentuk limbah sekam padi, merupakan potensi yang dimiliki Desa Kalinusu untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm). Limbah sekam padi dikonversikan menjadi bahan bakar bernilai kalor tinggi melalui teknologi gasifikasi. Proses gasifikasi terjadi pada reaktor, selama proses gasifikasi akan terbentuk daerah proses menurut distribusi temperatur dalam reaktor. Gas hasil dari proses gasifikasi disebut *syngas*. *Syngas* yang keluar dari reaktor kemudian dibersihkan untuk menghilangkan partikulat dan pengotor-pengotor lainnya dari reaktor. Kemudian *syngas* dikirim ke *gas engine* untuk dijadikan sebagai pembangkit (Ridwan, *et al.*, 2016).

Secara umum, terdapat tiga tipe reaktor gasifikasi, yaitu *crossdraft*, *updraft*, dan *downdraft*. Pada reaktor gasifikasi tipe *downdraft*, bahan bakar gasifikasi masuk melalui bagian atas reaktor, sedangkan udara masuk melalui bagian tengah atau samping reaktor. Udara masuk pada zona pembakaran sehingga akan membakar bahan bakar gasifikasi. Jumlah nosel udara biasanya ganjil sehingga gas panas dari satu nosel tidak mengenai nosel yang berlawanan (Reed and Das, 1988). Gas

yang dihasilkan akan mengalir mengikuti aliran udara dan keluar pada bagian bawah reaktor. Tar hasil dari proses pirolisis terbakar pada zona pembakaran sehingga sedikit yang terikut bersama aliran gas yang dihasilkan (Dzulfansyah, 2013). Keunggulan lain dari *gasifier* tipe *downdraft* yaitu bisa dikembangkan menjadi sebuah tungku gasifikasi yang bersifat kontinu atau dapat terus diisi ulang bahan bakarnya tanpa harus menghentikan penyalaan (Khoiri, 2016).

Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu ada perancangan reaktor gasifikasi sebagai komponen utama untuk pembangkit listrik kapasitas 5 kW sehingga dapat menjadi rekomendasi rancangan untuk membangun PLTBm oleh pemerintah Desa Kalinusu. Hal ini bertujuan untuk memecahkan masalah ketersediaan listrik bagi penerangan jalan di daerah tersebut.

METODE

Bahan yang digunakan dalam perancangan reaktor gasifikasi selain berdasarkan tujuan penelitian yaitu untuk menghasilkan daya output 5 kW, perancangan ini juga menggunakan data karakteristik biomassa sekam padi. Berikut ini merupakan data karakteristik biomassa sekam padi berdasarkan data dari komposisi *proximate*, komposisi *ultimate*, nilai kalor dan densitas sekam padi (Grover dan Mishra, 1996) yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi *proximate*, *ultimate*, nilai kalor dan densitas sekam padi (Grover dan Mishra, 1996) Perancangan yang dilaksanakan yaitu perancangan komponen-komponen atau elemen dari reaktor gasifikasi tipe *downdraft*. Komponen yang dirancang adalah dimensi reaktor, selubung reaktor, badan reaktor, *throat*, tempat pembuangan *ash*, nosel udara, penutup reaktor, *grate* dan kaki penyangga reaktor. Perancangan didasarkan pada persamaan-persamaan teoritis untuk memperoleh hasil spesifikasi komponen yang digunakan. Hasil dan pembahasan dari perancangan reaktor gasifikasi *downdraft* dengan daya output 5 kW berupa gambar dua dimensi dan tiga dimensi menggunakan *software Solidworks*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Reaktor

Hasil perancangan reaktor gasifikasi *downdraft* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan reaktor gasifikasi *downdraft*

Hasil perancangan dan perhitungan dimensi reaktor gasifikasi *downdraft* adalah sebagai berikut:

a. Laju konsumsi bahan bakar

Kebutuhan energi yaitu jumlah energi yang ekuivalen dengan produksi listrik 5 kW. Namun, *syngas* yang dihasilkan dari reaktor akan mengalami kerugian akibat perpindahan panas (Sakhiya, *et al.*, 2019) sehingga untuk menentukan dimensi reaktor jumlah energinya diambil lebih besar yaitu 7 kWh agar daya *output* yang dihasilkan reaktor masih melebihi 5 kW yang berkurang akibat adanya

	Kadar air (%)	8,9
Komposisi <i>proximate</i>	Kadar karbon terikat (%)	19,9
	Kadar material <i>volatile</i> (%)	60,6
	Kadar abu (%)	19,5
Komposisi <i>ultimate</i>	Karbon (%)	38,1
	Hidrogen (%)	4,7
	Oksigen (%)	29,3
	Nitrogen (%)	1,5
	Sulfur (%)	0,1
Nilai kalor (k.kal)		3300
Densitas (kg/m ³)		125

kerugian dari perpindahan panas, yang mana 1 kWh setara dengan 3600000 Joule. Sedangkan nilai kalor sekam padi adalah 3300 kkal (Grover dan Mishra, 1996) dimana 1 kalori mempunyai nilai sebesar 4,2 Joule dan efisiensi gasifikasi diasumsikan 17%

(Belonio, 2005). Sehingga laju konsumsi bahan bakar dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

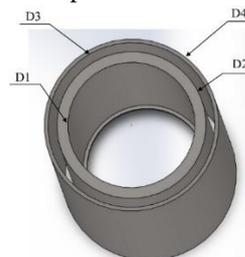
$$\begin{aligned}
 FCR &= \frac{Qn}{CV \times \eta_g} \\
 &= \frac{25,2}{13,8 \times 0,17} \\
 &= 10,7 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

b. Diameter reaktor

Nilai dari *Specific Gasification Rate* (SGR) diasumsikan 110 kg/m².jam (Belonio, 2005). Diameter dalam reaktor dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$\begin{aligned}
 d &= \sqrt{\frac{1,27 \times FCR}{SGR}} \\
 &= \sqrt{\frac{1,27 \times 10,7}{110}} \\
 &= 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menghasilkan diameter dalam reaktor 350 mm, badan reaktor menggunakan baja ST-40 (tebal 30 mm) dan selubung gas menggunakan *stainless steel* SS-304 (tebal 5 mm) dengan jarak 30 mm dari badan reaktor atau berdiameter 470 mm. Rancangan diameter-diameter reaktor ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diameter badan reaktor dan selubung reaktor

Keterangan gambar:

D1 Diameter dalam badan reaktor = 350 mm

D2 Diameter luar badan reaktor = 410 mm

D3 Diameter dalam selubung reaktor = 470 mm

D4 Diameter luar selubung reaktor = 480 mm

c. Tinggi reaktor

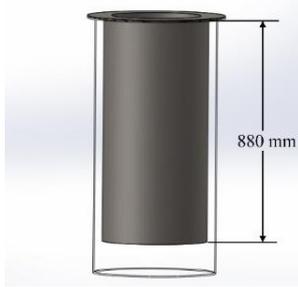
Ketinggian reaktor yaitu jaraknya dari atas reaktor sampai *grate* atau tinggi dari badan reaktor. Waktu yang diperlukan untuk mengkonsumsi bahan bakar yaitu 1 jam, semakin lama waktu konsumsi bahan bakar maka semakin tinggi juga dimensi dari reaktor tersebut. Densitas bahan bakar sekam padi adalah 125 kg/m³ (Grover dan Mishra, 1996). Untuk merancang ketinggian reaktor menggunakan Persamaan 3.

$$h = \frac{SGR \times t}{\rho_b}$$

$$= \frac{110 \times 1}{125}$$

$$= 880 \text{ mm}$$

Rancangan ketinggian reaktor ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Ketinggian reaktor

d. Laju aliran udara

Air Fuel Ratio (AFR) adalah jumlah udara yang akan dipasok ke reaktor. Nilai dari rasio ekuivalen yang diambil yaitu 0,3, kemudian untuk udara stoikiometri diasumsikan sebesar 4,5 kg udara/kg bahan bakar (Suyitno, 2011), dan densitas udara sebesar 1,25 kg/m³. Untuk menentukan laju aliran udara dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$AFR = \frac{FCR \times SA \times \epsilon}{\rho_a}$$

$$= \frac{10,7 \times 4,5 \times 0,3}{1,25}$$

$$= 11,55 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0032 \text{ m}^3/\text{s}$$

e. Diameter nosel udara

Letaknya berada pada zona oksidasi yang berjumlah 3 dengan jarak yang sama, jumlah nosel yang ganjil ini agar gas panas dari satu nosel tidak mengenai nosel yang berlawanan dan sudut nosel yang digunakan adalah 10° (Dzulfansyah, 2014). Asumsi aliran kecepatan udara sebesar 4 m/s (Kumar, *et al.*, 2018). Diameter nosel ditentukan dengan Persamaan 5.

$$d_n = \sqrt{\frac{1,27 \times AFR}{V_a \times N_{nosel}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,27 \times 0,0032}{4 \times 3}}$$

$$= 17 \text{ mm}$$

f. Syngas generation rate

Syngas generation rate atau tingkat pembangkitan syngas yang diperlukan untuk daya output 7 kW dapat ditentukan dengan Persamaan 6.

$$SG = \frac{P}{CV}$$

$$= \frac{25,2}{13,8}$$

$$= 1,8 \text{ m}^3/\text{jam}$$

g. Perancangan throat

Pada perancangan *throat*, sudut kemiringan tenggorokan harus sekitar 45°-60° (FAO, 1986). Kemudian untuk menentukan diameter *throat* dapat menggunakan Persamaan 7, dengan menghitung terlebih dahulu luas permukaan *throat* yang menggunakan Persamaan 8.

$$A_t = \frac{SG}{SGR}$$

$$= \frac{1,8}{110}$$

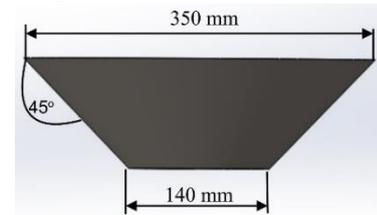
$$= 0,016 \text{ m}$$

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \times A_t}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 0,016}{3,14}}$$

$$= 140 \text{ mm}$$

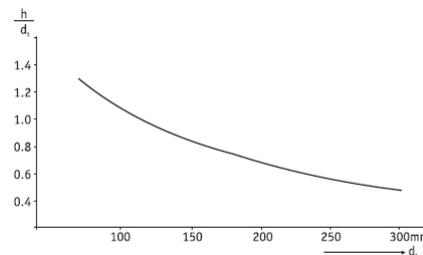
Throat menggunakan material dari baja ST-40 dengan tebal 10 mm, rancangan *throat* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perancangan throat

h. Letak nosel udara pada ketinggian throat

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6, letak nosel udara dapat diperoleh dengan berdasarkan diameter dari *throat*. Diketahui bahwa diameter *throat* bernilai 140 mm, maka letak nosel udara dapat dihitung dengan Persamaan $\frac{h_t}{d_t} = 0,9$.



Gambar 6. Grafik letak nosel udara pada ketinggian throat (FAO, 1986)

$$h_t = 0,9 \times d_t$$

$$= 0,9 \times 140$$

$$= 126 \text{ mm}$$

i. Tinggi ruang pembuangan *ash*

Ash yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi adalah 20% (Wau, 2019), maka untuk menentukan volume pada reaktor sebesar 20% dapat menggunakan rumus $v = \pi \times r^2 \times h$. Setelah volume pada reaktor diperoleh, tinggi ruang pembuangan *ash* dapat dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$V = (\pi \times r^2 \times h) \times 20\%$$

$$= (3,14 \times 0,175^2 \times 0,88) \times 20\%$$

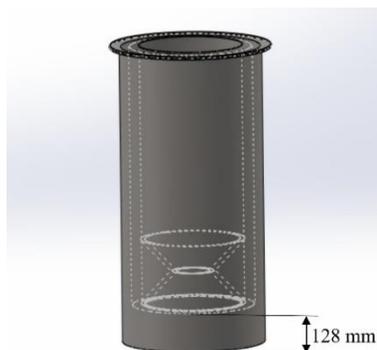
$$= 0,0169 \text{ m}^3$$

$$h_2 = \frac{v}{\pi \times r^2}$$

$$= \frac{0,0169}{3,14 \times 0,235^2}$$

$$= 98 \text{ mm}$$

Tinggi ruang pembuangan *ash* ditambah 30 mm menjadi 128 mm. Hal ini bertujuan agar *syngas* yang mengalir menuju pipa *output* memiliki ruang yang lebih luas, sehingga tidak menghambat aliran dan *syngas* yang dihasilkan lebih bersih (Ridwan, *et al.*, 2018). Rancangan ruang pembuangan *ash* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tinggi ruang pembuangan *ash*

B. Analisis kerugian panas

Selama proses gasifikasi kehilangan panas (*heat loss*) terjadi dari reaktor sampai ke ujung pipa gas buang hasil gasifikasi yang dihasilkan. *Heat loss* yang terjadi hanya akibat dari perpindahan panas konveksi dan radiasi. Tujuan dari perhitungan kehilangan panas ini untuk menentukan apakah daya *output* dari reaktor mampu untuk mengoperasikan mesin generator kapasitas 5 kW atau daya *output* dari reaktor justru lebih kecil dari 5 kW.

a. Perpindahan panas konveksi

Perhitungan perpindahan panas pada aliran fluida bentuk gas hanya dari komposisi gas karbon monoksida dan hidrogen, karena gas mampu bakar hasil dari proses gasifikasi biomassa biasanya lebih

dominan mengandung kedua komposisi gas tersebut. Perpindahan panas konveksi untuk fluida gas karbon monoksida dapat diperoleh dengan Persamaan 11.

$$Q_1 = h \times A (T_s - T_{oo})$$

$$= 7,976 \times 0,24 (217 - 30)$$

$$= 0,3 \text{ kW}$$

Sedangkan perpindahan panas konveksi untuk fluida gas hidrogen adalah sebagai berikut:

$$Q_2 = h \times A (T_s - T_{oo})$$

$$= 21,126 \times 0,24 (217 - 30)$$

$$= 0,9 \text{ kW}$$

Sehingga total kerugian perpindahan panas konveksi untuk fluida gas karbon monoksida dan gas hidrogen yaitu:

$$Q_{\text{konveksi}} = Q_1 + Q_2$$

$$= 0,3 + 0,9$$

$$= 1,2 \text{ kW}$$

b. Perpindahan panas radiasi

Kehilangan panas radiasi dapat diperoleh dengan persamaan (2.16), nilai dari konstanta Stefan-Boltzman yaitu $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

$$Q_{\text{radiasi}} = \sigma \times A \times (T_s^4 - T_{oo}^4)$$

$$= 5,67 \times 10^{-8} \times 0,24 (490^4 - 303^4)$$

$$= 0,6 \text{ kW}$$

Maka, total kerugian panas konveksi dan radiasi sebesar 1,8 kW, sehingga daya *output* reaktor sebesar 7 kW berkurang dengan adanya kerugian akibat perpindahan panas tersebut menjadi 5,2 kW. Daya *output* 5,2 kW yang dihasilkan reaktor gasifikasi cukup untuk mengoperasikan mesin generator dengan daya *output* 5 kW.

SIMPULAN

Berdasarkan kebutuhan energi listrik di Desa Kalinusu yaitu 4,4 kW, maka reaktor gasifikasi yang dirancang mampu menghasilkan daya *output* 5 kW untuk mengoperasikan mesin generator kapasitas 5 kW. Hasil dari perancangan reaktor gasifikasi *downdraft* memiliki diameter 35 cm dan tinggi 88 cm dengan dilengkapi *throat* berdiameter 14 cm serta terdapat 3 nosel udara yang terletak pada ketinggian 12,6 cm diatas *throat*. Laju konsumsi bahan bakar reaktor memiliki kapasitas 10,7 kg/jam yang artinya setiap satu jam sekali ketika reaktor beroperasi bahan bakar perlu diisi ulang. Daya *output* yang dihasilkan dari perancangan reaktor

gasifikasi *downdraft* adalah sebesar 5,2 kW, sehingga mampu untuk mengoperasikan mesin generator kapasitas 5 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, Wusana, Sunu H Pranolo, Gede Noorochadi, and Lusita Ratna M. 2010. "Perancangan Dan Uji-Kinerja Reaktor Gasifikasi Sekam Padi Skala Kecil" 9 (1): 29–33.
- Aminah, Siti. 2020. "Pembangunan Jalan Tembus Di Dusun Karang Kandri." Kabartegal.Pikiran-Rakyat.Com. Brebes. 2020.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Brebes. 2016. Kabupaten Brebes Dalam Angka 2016. Brebes: Badan Pusat Statistik Kabupaten Brebes.
- Belonio, A. T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Bioenergylists.Org. Iloilo City: Central Philippine University.
- Deny, Septian. 2017. "Dengan Varietas Ini, RI Bisa Panen Padi 4 Kali per Tahun." Liputan6.Com. 2017.
- Dzulfansyah, Dziyad. 2013. "Simulasi Numerik Untuk Memprediksi Kinerja Reaktor Gasifikasi Sabut Kelapa Tipe." Institut pertanian bogor.
- Dzulfansyah, Dziyad. 2014. "Perancangan Reaktor Gasifikasi Sekam Padi Tipe Downdraft Menggunakan Analisis Computational Fluid Synamics." *Journal of Chemical Information and Modeling*. Institut Pertanian Bogor.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1986. *Wood Gas as Engine Fuel*. FAO Forestry Department. United Nations.
- Grover, P. D, and S. K. Mishra. 1996. *Biomass Briquetting: Technology and Practices. Regional Wood Energy Development Programme in Asia*. Bangkok: FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia.
- Hidayat, Darmawan, Mappesse Yusuf, and Firdaus. 2021. "Studi Perencanaan Instalasi Penerangan Jalan Umum (Pju) Menggunakan Panel Surya Di Desa Pesse Kecamatan Donri Donri Kabupaten Soppeng."
- Khoiri, Muhammad Raisul. 2016. "Rancang Bangun Tungku Gasifikasi Tipe Downdraft Continue Bahan Bakar Sekam Padi," 1–14.
- Kumar, G. Suresh, Avssks Gupta, and M. Viswanadham. 2018. "Design of Lab-Scale Downdraft Gasifier for Biomass Gasification." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 455 (January).
- Reed, B., and A. Das. 1988. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*. SERI . U.S. Department of Energy. Washington DC.
- Ridwan, Muhammad, Indradjaja, Faqih Azizuddin, and Stefan Arichta. 2016. "Perancangan Reaktor Gasifikasi Downdraft Dan Cyclone Separator Pilot Plant Pembangkit Listrik Gasifikasi Biomassa Kapasitas 100 KW." In , 5–6. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Sakhiya a, Anil Kumar, Apoorv Chaturvedia, Vivek Barasara a, Krunal Panchalb, Darshit S. Upadhyaya, and Rajesh N. Patel. 2019. "Elemental and Heat Loss Analysis of Different Feedstock in Downdraft Gasifier." *Journal of Energy and Environmental Sustainability* 7 (December): 10–16.
- Suyitno. 2011. *Produksi Gas Dari Padatan*. UPT Penerbitan Dan Percetakan UNS. Vol. 1. Surakarta.
- Wau, Irwansyah Putra. 2019. "Uji Karakteristik Asap Cair Sekam Padi Pada Alat Pirolisis Plastik-Sekam Padi." Universitas Sumatera Utara.