

Analisis Gas Hasil Pembakaran Tungku Gasifikasi Tongkol Jagung

Dominggus G.H. Adoe¹, Jahirwan Ut Jasron^{2*}, Jufrianus Aven Nahak³, Defmit B. N. Riwu⁴

¹⁻⁴) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001

*Corresponding author: jahirwan.jasron@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara agraris, mempunyai sumber energi biomassa yang melimpah. Salah satu limbah pertanian yang cukup potensial untuk diolah menjadi bahan bakar alternatif adalah tongkol jagung. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perbandingan antara massa tongkol jagung yaitu 4 kg, 8 kg dan 12 kg terhadap gas hasil gasifikasi dengan suhu 100-180 °C. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa gas hasil gasifikasi tongkol jagung dengan massa 4 kg, 8 kg dan 12 kg menghasilkan persentase gas yang cenderung menurun seiring pembakaran massa bahan bakar yaitu 8 kg dan 12 kg, penurunan tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor antara lain kadar air yang relatif tinggi dan suhu pembakaran yang rendah. Dan efisiensi yang dihasilkan dari pembakaran tungku gasifikasi dengan variasi massa yaitu: 4 kg menghasilkan efisiensi 96,8843 %, 8 kg dengan efisiensi 88,1387 %, dan 12 kg dengan efisiensi 88,1485%.

ABSTRACT

Indonesia, as an agricultural country, has abundant sources of biomass energy. One of the potential agricultural wastes to be processed into alternative fuels is corn cob. Therefore, this research aims to compare the mass of corn cobs, namely 4 kg, 8 kg, and 12 kg, to the gas produced by gasification at a temperature of 100-180 °C. The results of this study indicate that gas from corn cob gasification with a mass of 4 kg, 8 kg, and 12 kg produces a proportion of gas that tends to decrease as the mass of fuel is burned, namely 8 kg and 12 kg, this decrease is caused by several factors including the relatively high water content. High and low combustion temperatures. Moreover, the efficiency resulting from the combustion of the gasification furnace with mass variations, namely: 4 kg produces an efficiency 96.8843%, 8 kg produces an efficiency 88.1387%, and 12 kg produces an efficiency 88.1485%.

Keywords: *Corn cobs, mass, moisture content, temperature, efficiency*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara agraris, mempunyai sumber energi biomassa yang melimpah. Salah satu sumber energi biomassa di Indonesia yang potensial adalah limbah pertanian, seperti sekam padi, jerami, ampas tebu, batang dan tongkol jagung serta limbah-limbah pertanian/perkebunan lainnya. Salah satu limbah pertanian yang cukup potensial untuk diolah menjadi bahan bakar alternatif adalah tongkol jagung, karena ketersediaannya yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara maksimal.

Salah satu langkah dalam pemanfaatan biomassa untuk mengatasi kelangkaan energi tidak terbarukan adalah dengan menggunakan metode gasifikasi biomassa. Secara garis besar

gasifikasi adalah sebuah reaksi termokimia yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas. Dan untuk membuat sebuah gasifikasi biomassa dibuat alat untuk mengubah biomassa padat tersebut menjadi bahan bakar gas atau yang dikenal dengan gasifikasi.

Proses gasifikasi menghasilkan gas-gas yang sifatnya mudah terbakar yaitu CH₄ (Metana), H₂ (Hidrogen), dan CO (karbon monoksida), sehingga bisa menggantikan fungsi dari bahan bakar gas yang digunakan untuk memasak dan hal-hal lain yang menggunakan gas sebagai sumber energinya. Oleh karena itu penelitian dan pengembangan teknologi gasifikasi sebagai salah satu sumber energi alternatif harus terus menerus ditingkatkan agar bisa

mendapatkan efisiensi dan efektifitas yang paling maksimal.

LANDASAN TEORI

Tongkol jagung merupakan bagian tanaman jagung yang tidak dimanfaatkan sebagai makanan pokok. Tongkol jagung ini termasuk dalam biomassa jagung. Tongkol jagung merupakan simpanan makanan untuk pertumbuhan biji jagung selama melekat pada tongkol. Panjang tongkol bervariasi antara 8-12 cm. Tanaman jagung mempunyai satu atau dua tongkol, tergantung varietas. Tongkol jagung di selimuti oleh daun kelobot. Tongkol jagung yang terletak pada bagian atas umumnya lebih dahulu terbentuk dan lebih besar.

Tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat untuk proses thermal gasifikasi. Pada proses gasifikasi, terjadi pembakaran tidak sempurna pada suhu yang relatif tinggi, yaitu sekitar 900–1200°C. Proses gasifikasi menghasilkan produk berupa gas dengan nilai kalori 4000–5000 kJ/Nm³. Konversi energi dengan cara gasifikasi efisiensi panasnya mencapai 50–70% (Widodo et.al., 2013).

Kompur gasifikasi adalah salah satu teknologi pemanfaatan biomassa yang dapat digunakan untuk kebutuhan memasak pada sektor rumah tangga. Gasifikasi adalah proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH₄, H₂) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoikiometri. Reaktor tempat terjadinya proses gasifikasi disebut gasifier. Selama proses gasifikasi akan terbentuk daerah proses yang dinamakan menurut distribusi suhu dalam reaktor gasifier. Daerah-daerah tersebut adalah: Drying, Pyrolysis, Reduksi dan Combustion. Masing-masing daerah terjadi pada rentang suhu antara 100°C hingga 300°C, 300°C hingga 900°C, 400°C hingga 900°C, dan 900°C keatas.

Gasifikasi merupakan metode konversi secara termokimia bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas syngas dalam wadah gasifier dengan menyuplai agen gasifikasi seperti uap panas, udara dan lainnya. Dalam proses gasifikasi ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses gasifikasi, antara lain:

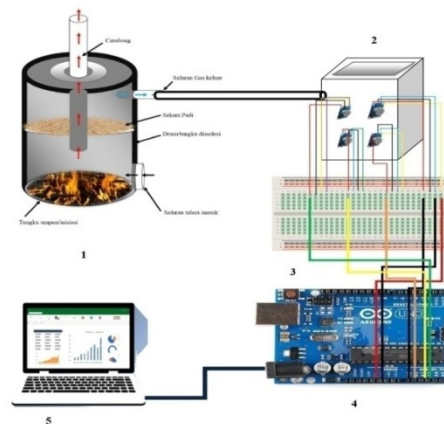
- Waktu. Semakin lama waktu gasifikasi, maka semakin banyak hasil gas yang dihasilkan, tetapi jumlah arang semakin berkurang.
- Kecepatan Aliran Udara. Semakin besar laju udara maka laju konsumsi bahan bakar akan semakin besar dan waktu proses akan semakin pendek. Penambahan jumlah oksigen yang besar kedalam reaktor menyebabkan bahan lebih cepat terbakar menjadi arang.
- Rasio Udara dan Bahan Baku (AFR). Perbandingan udara dan bahan baku dalam proses gasifikasi mempengaruhi reaksi yang terjadi dan tentu saja pada kandungan syngas yang dihasilkan. Pada proses gasifikasi biomassa rasio udara dan bahan baku (AFR) tidak lebih dari 1,5.

Proses gasifikasi tongkol jagung memiliki beberapa tahapan penting yaitu :

- Daryng (pengeringan). Proses daryng dilakukan untuk menurunkan kadar air. Temperaur pada zona ni berkisar antara 100-300°C, semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomassa sehingga proses daryng akan berlangsung lebih cepat.
- Pirolisis (devolatilisasi). Rangkaian proses fisik dan kimia pada proses pirolisis terjadi secara lambat pada suhu kurang dari 100°C, namun ketika mencapai suhu 200°C akan terjadi secara cepat hingga suhu bahan bakar meningkat sekitar 230°C. hasil dari proses pirolisis gas (H₂, CO, CO₂, H₂O dan CH₄), tar dan arang.

- Oksidasi (proses pembakaran). Pada proses oksidasi oksigen yang dipasok dalam ruang bakar akan bereaksi dengan bahan bakar yang mudah terbakar. temperatur yang diperlukan pada tahap ini berkisar antara $300-850^{\circ}\text{C}$, pada tahap ini dengan temperatur tersebut akan menghasilkan gas CO_2 dan H_2O .
- Proses Reduksi. Pada proses reduksi tahapan gasifikasi yang melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang didukung oleh panas. Temperatur pada tahap reduksi dapat mencapai 900°C yang dapat menghasilkan gas bakar berupa H_2 , CO , dan CH_4 .

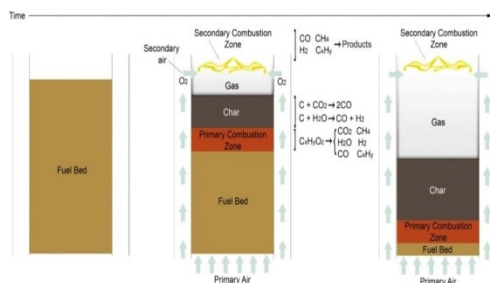
Skema Alat Uji



Gambar 2 Skema alat uji

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di LAB Prodi Teknik Mesin Fakultas sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana Kupang. Penelitian dilaksanakan dengan memanfaatkan limbah hasil pertanian yaitu Tongkol Jagung sebagai bahan bakar untuk proses pembakaran dengan menggunakan tungku gasifikasi sebagai media pembakaran. Dengan menggunakan tungku gasifikasi dan bahan bakar Tongkol Jagung, diharapkan dapat menghasilkan gas hasil pembakaran yang lebih baik sesuai metode yang diterapkan.



Gambar.1 Skema Pengoperasian Tungku Gasifikasi

Keterangan Alat:

1. Tungku gasifikasi
2. Kotak penampung Gas
3. Papan breadboard dan Sensor Gas Metan (CH_4), Hidrogen (H_2), Nitrogen (N_2), dan Carbon Monoksida (CO)
4. Arduino Uno
5. Laptop (Monitor pembaca hasil Gas)

Keterangan garis:

1. — : Kabel arus 5V dari arduino ke papan breadboard
2. — : Kabel GND dari Arduino ke papan breadboard
3. — : Kabel A0 dari arduino ke papan breadboard
4. — : Kabel A1 dari arduino ke papan breadboard
5. — : Kabel A2 dari arduino ke papan breadboard
6. — : Kabel A3 dari arduino ke papan breadboard
7. — : Kabel penghubung dari Arduino ke Laptop (monitor) sebagai pembaca hasil gas gasifikasi

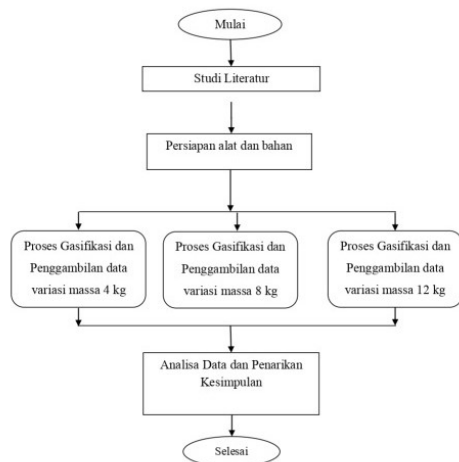
Pelaksanaan Pengujian

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan bakar yaitu tongkol jagung

2. Menimbang berat tongkol jagung dengan variasi masing-masing 4 kg, 8 kg, 12 kg.
3. Masukan bahan bakar yang sudah ditimbang kedalam ruang gasifikasi
4. Menutup saluran masuk bahan bakar
5. Membantu penyalaan awal bahan bakar menggunakan minyak tanah
6. Mulai pencatatan nilai gas yang keluar saat proses gasifikasi berlangsung menggunakan sensor sebagai pembaca gas hasil
7. Mengulangi prosedur 1-6 untuk variasi massa 4 kg, 8 kg, dan 12 kg.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah massa bahan bakar dan variabel terikat jumlah gas hasil gasifikasi. Diharapkan dari pengujian akan diperoleh hubungan antara massa bahan bakar terhadap perubahan jumlah gas yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang analisis gas hasil pembakaran tungku gasifikasi berbahan bakar tongkol ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa bahan bakar terhadap gas hasil gasifikasi, mengetahui pengaruh gas

hasil gasifikasi pembakaran tongkol jagung terhadap efisiensi tungku gasifikasi. Penelitian ini dilakukan di LAB prodi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana Kupang.

Berikut adalah tabel hasil penelitian:

Tabel IV. 1 Hasil pembakaran tongkol jagung 4 kg

Waktu (S)	Hidrogen (ppm)	Metan (ppm)	Nitrogen (ppm)	Karbon monoksida (ppm)	T ₁	T ₂	T ₃
0	388,4	121,6	179,1	285,7			
30	577	563	604	778,5	232,4	102,5	284,3
45	649,2	658,5	659,2	888,4	371,8	134,1	352,9
60	663,4	678,1	671,8	888,1	448,3	132,3	499,4
75	731,5	748,2	740,2	891	578,1	191,5	457,7
90	811	820	825	893,7	424,9	128,4	387,3
105	613,4	456,8	449,7	752,9	286,7	112,7	287,6

Tabel IV. 2 Hasil pembakaran tongkol jagung 8 kg

Waktu (T)	Hidrogen (ppm)	Metan (ppm)	Nitrogen (ppm)	Karbon monoksida (ppm)	T ₁	T ₂	T ₃
0	209,3	183,4	164,4	255,8			
30	454,3	460,8	596,9	808,5	232,4	102	222,8
60	610,8	675,9	679	847,7	460,7	110,8	316,7
75	691	688	689,8	882,8	506,6	178,0	345,7
90	715,2	719,3	718,4	886,9	432,2	131,3	540,7
105	695,5	645,7	694,5	851	519,6	110	473,7
120	695	679,6	679,4	809,1	402,8	108	353,3
135	281,5	106,4	245,1	666,6	275,7	106,7	286,8
150	230,1	106,5	243,4	606,4	248,2	98,2	211

Tabel IV. 3 Hasil pembakaran tongkol jagung 12 kg

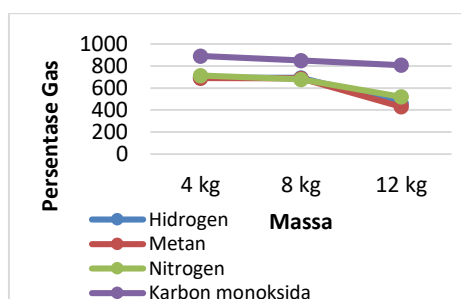
Waktu (T)	Hidrogen (ppm)	Metan (ppm)	Nitrogen (ppm)	Karbon monoksida (ppm)	T ₁	T ₂	T ₃
0	115,5	59,6	101,1	198,4			
30	427,3	413,7	490,1	770,2	250	102	214
60	514,3	440,6	507,3	825,8	310	118	355
75	518,7	503,7	523,1	845,7	357,4	120	315
90	632,2	626,3	635,1	845,7	350,2	122,5	315,7
105	527,5	548,9	547,1	808	335	122	300
120	461,6	430	520,1	761,5	357,3	104,9	274
135	335,1	136,3	221,3	738,3	223,8	102	151

Ket. Tabel : T₁ = Suhu dapur pemanas, T₂ = Suhu ruang bakar dan T₃ = Suhu Cerobong.

Dapat diketahui dari tabel di atas bahwa hasil pembakaran yang dihasilkan dari pembakaran tongkol jagung 4 kg, 8 kg dan 12 kg sangatlah berbeda karena perbedaan massa bahan bakar dan lama waktu pembakaran yang dilakukan selama mulai proses pembakaran sampai selesai.

Pembahasan

Analisis pengaruh massa terhadap gas hasil gasifikasi



Gambar 4 Grafik pengaruh massa terhadap gas hasil gasifikasi

Berdasarkan dari grafik terlihat bahwa pembakaran tongkol jagung dengan massa 4 kg memiliki persentase hasil gas yang cenderung stabil dan tinggi karena pada proses pembakaran berlangsung dari proses draying hingga proses reduksi bahan bakar dalam ruang pembakaran terbakar dengan sempurna hingga menjadi abu. Namun mengalami penurunan jumlah persentase gas secara signifikan seiring dengan bertambahnya massa bahan bakar tongkol jagung yaitu 8 kg dan 12 kg.

Penurunan persentase gas seiring dengan bertambahnya massa bahan bakar 8 kg dan 12 kg tersebut disebabkan oleh:

Kadar Air

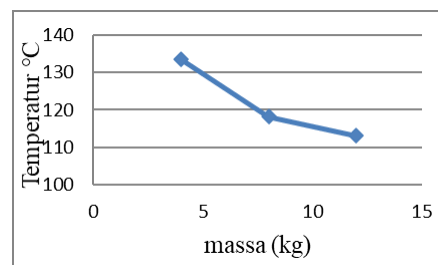
Semakin besar kadar air yang terkandung dalam bahan bakar maka akan menurunkan suhu operasi proses. Hal ini dikarenakan besarnya kandungan air akan menurunkan panas yang diperlukan untuk menguapkan air, dari hasil penelitian panas yang didapat dari proses pembakaran bahan bakar itu sendiri relatif rendah yaitu 180°C . Rendahnya panas yang dihasilkan pada daerah pembakaran akan mengakibatkan suhu pada daerah pirolisis dan reduksi menjadi rendah.

Pada pembakaran 8 kg dan 12 kg dapat dijelaskan dengan naiknya kadar air pada bahan bakar akan menambah jumlah H_2O yang dapat dihasilkan pada daerah pengeringan yang berperan dalam pembentukan gas H_2 , CH_4 , N_2 dan CO . Dimana semakin besarnya kandungan air dalam bahan bakar akan menurunkan suhu

reduksi, turunnya suhu reduksi mengakibatkan laju pengkonversian gas H_2 , CH_4 , N dan CO pada daerah reduksi berkurang karena gas yang dihasilkan masih tercampur dengan gas H_2O dengan suhu yang relatif rendah.

Suhu Pembakaran

Proses pembentukan syngas membutuhkan suhu pembakaran yang tinggi berkisar antara $100\text{-}900^{\circ}\text{C}$. Pada penelitian ini suhu pembakaran yang diperoleh relatif rendah dengan suhu yang dicapai yaitu $100\text{-}180^{\circ}\text{C}$ mengakibatkan syngas yang diperoleh kurang stabil karena suhu pembakaran yang terlalu rendah, sehingga kadar gas yang dihasilkan dengan suhu yang rendah mengakibatkan produksi gas yang dihasilkan bercampur dengan unsur H_2O karena belum terurai sempurna. Berikut disajikan grafik temperatur pembakaran pada ruang bakar pada setiap massa bahan bakar:



Gambar 5. Suhu pembakaran

Dari grafik diatas terlihat bahwa distribusi temperatur mengalami fluktuasi seiring bertambahnya massa bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh:

- Ketidakseragaman ukuran bahan bakar sehingga mempengaruhi laju turunnya bahan bakar ke daerah oksidasi.
- Ketidak seragaman kadar air dalam bahan bakar sehingga terjadi perbedaan kecepatan pembakaran pada zona oksidasi. Karena semakin banyak kadar air yang dihasilkan dalam ruang pembakaran akan dapat menurunkan suhu operasi proses pada ruang gasifikasi sehingga gas yang

dihasilkan dapat bercampur dengan unsur H₂O.

Analisis pengaruh gas hasil gasifikasi terhadap efisiensi tungku

Unjuk kerja tungku gasifikasi dirumuskan sebagai total energi yang dikandung syn-gas dibagi dengan energi yang dikandung biomassa. Berikut adalah hasil perhitungan efisiensi tungku yaitu:

Energi Pembakaran

Nilai energi pembakaran ditentukan oleh nilai kalor bahan bakar dan jumlah bahan bakar yang digunakan.

$$Q_T = M_{BB} \times E_{BB}$$

$$Q_{T1} = 4 \text{ kg} \times 29772 \text{ kJ / kg}$$

$$= 119.088 \text{ kJ}$$

$$Q_{T2} = 8 \text{ kg} \times 29772 \text{ kJ / kg}$$

$$= 238.176 \text{ kJ}$$

$$Q_{T3} = 12 \text{ kg} \times 29772 \text{ kJ / kg}$$

$$= 357.264 \text{ kJ}$$

Efisiensi penggunaan energi

Efisiensi penggunaan energi merupakan salah satu parameter yang dapat menunjukkan apakah tungku biomassa sudah bekerja secara optimal atau belum. Efisiensi tungku merupakan perbandingan antara energi panas yang keluar untuk proses pengeringan dan energi yang ada di dalam bahan bakar. Efisiensi penggunaan energi dihitung berdasarkan mekanisme perpindahan panas konveksi yang terjadi dalam tungku biomassa.

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{rb}} + T_{\text{in}}} \times 100 \%$$

Efisiensi termal yang dihasilkan dari pembakaran tongkol jagung 4 kg yaitu:

$$\eta_{\text{termal1}} = \frac{378,2}{390,36 + 133,58} \times 100\%$$

$$= 72,1834 \%$$

Efisiensi termal yang dihasilkan dari pembakaran tongkol jagung 8 kg yaitu:

$$\eta_{\text{termal2}} = \frac{343,83}{390,1 + 118,12} \times 100\%$$

$$= 67,6535 \%$$

Efisiensi termal yang dihasilkan dari pembakaran tongkol jagung 12 kg yaitu:

$$\eta_{\text{termal3}} = \frac{274,98}{311,95 + 113,05} \times 100\%$$

$$= 64,7016$$

Sedangkan untuk efisiensi tungku menggunakan persamaan sebagai berikut:

Efisiensi Tungku

$$\eta_{\text{tungku}} = \frac{Q_{\text{keluaran}}}{Q_{\text{masuk}}} \times 100\%$$

Efisiensi tungku yang dihasilkan dari pembakaran tongkol jagung 4 kg yaitu:

$$\eta_{\text{tungku1}} = \frac{378,2}{390,36} \times 100\%$$

$$= 96.8843 \%$$

Efisiensi tungku yang dihasilkan dari pembakaran tongkol jagung 8 kg yaitu:

$$\eta_{\text{tungku2}} = \frac{343,83}{390,1} \times 100\%$$

$$= 88,1389 \%$$

Efisiensi tungku yang dihasilkan dari pembakaran tongkol jagung 12 kg yaitu:

$$\eta_{\text{tungku3}} = \frac{274,98}{311,95} \times 100\%$$

$$= 88,1487 \%$$

Kinerja tungku tersebut dapat dilihat dari efisiensi tungku serta panas efektif yang dimanfaatkan. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi tungku untuk massa 4 kg menjadi 96.8843 %, 8 kg menjadi 88,1387 %, sedangkan 12 kg menjadi 88,1485%.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Hasil pembakaran biomassa tongkol jagung dengan variasi massa 4 kg, 8 kg dan 12, menunjukkan bahwa semakin banyak massa bahan bakar tongkol

jagung, menghasilkan produksi gas yang cenderung menurun. Hal ini disebabkan kadar air yang terkandung dalam biomassa tongkol jagung 8 kg dan 12 kg cenderung lebih tinggi sehingga dapat berpengaruh dalam proses pembentukan gas yang dihasilkan karena gas yang dihasilkan masih bercampur dengan unsur H₂O dengan temperatur pembakaran yang cukup rendah berkisar antara 100-180°C.

- Dari hasil pembakaran biomassa tongkol jagung, gas yang dihasilkan tergantung pada tingkat efisiensi tungku gasifikasi. Semakin besar efisiensi tungku, semakin banyak gas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Surono, U. B. (2010). Peningkatan kualitas pembakaran biomassa limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif dengan proses karbonisasi dan pembriketan. *Jurnal Rekayasa Proses*, 4(1), 13-18
- [2]. RINI, A. (2020). Analisis Nyala Api Efektif Terhadap Lama Pembakaran Limbah Tongkol Jagung Kompor Gasifikasi Biomassa (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Mataram)
- [3]. Jessica Tryner, Bryan D. Willson, Anthony J. Marchese. Pengaruh jenis bahan bakar dan desain kompor terhadap emisi dan efisiensi kompor biomassa semi-gasifier konsep alami
- [4]. Ahmad, A. M. (2012). Perancangan dan uji kinerja tabung spiral tungku kramik dengan bahan bakar padat. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(3).
- [5]. Tahir, M., Kasim, R., & Bait, Y. (2013). Uji performansi desain terintegrasi tungku biomassa dan penukar panas. *agriTECH*, 33(2).
- [6]. Joniarta, I. W., Wijana, M., Triadi, A. A., Iswara, I. B. K. T. H., & Adhi, I. G. A. K. C. (2018). Pengaruh variasi campuran bahan bakar tongkol jagung dan tempurung kelapa terhadap unjuk kerja tungku biomassa. *Dinamika Teknik Mesin*, 8(2), 104-113.
- [7]. SUMANTRI, KIKI, S. T. NUR AKLIS, and M. Eng. Kinerja Crossdraft Gasifier Dengan Bahan Bakar Tongkol Jagung Dengan Kecepatan Udara 3.0, 4.0, 5.0 m/s. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.
- [8]. Nurjito, Agung. Kinerja Tungku Gasifikasi Tipe Downdraft Terhadap Bahan Bakar Sekam Padi, Bonggol Jagung Dan Batok Kelapa. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.
- [9]. Pangala, J. R., Tambunan, A. H., Kartodihardjo, H., & Pari, G. (2016). Desain Dan Pengujian Kinerja Kompor Gasifikasi-pirolisis. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 6(1), 61-61.
- [10]. PUTRA, Affandy Nazar. Sistem Multiproteksi Pencegahan Dini Deteksi Kebakaran Berbasis Mikrokontroler. 2017. PhD Thesis. Untag Surabaya.
- [11]. AMBARWATI, Anisa. Rancang Bangun Proses Produksi Gas Hidrogen (H₂) Melalui Elektrolisis Air Dan Sistem Monitoring Berbasis Human Machine Interface (Hmi). 2017. PhD Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12]. WICAKSONO, Haryo Arif. Rancang Bangun Sistem Monitoring Konsentrasi Gas Nitrogen Oksida (NO_x) Sebagai Emisi Gas Buang Menggunakan Sensor Gas MQ-135 Berbasis Mikrokontroler STM32F4 Discovery. 2017. PhD Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [13]. Ikrham, Y. 2016 Sensor Asap MQ-7. Malang : Universitas Brawijaya Halaman : 57 – 61.