



Research Article

Pengaruh Penambahan Isolator Terhadap Distribusi Temperatur dan Nyala Efektif Api Pada Tungku Gasifikasi Tipe *Downdraft*

Agus Jamaldi^{1,*}, Nugroho Tri Atmoko¹, Arif Hidayat P.¹, Edy Suryono¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

Email: agus.jamaldi@sttw.ac.id, nugroho.ta@sttw.ac.id, arif_hp@sttw.ac.id, edysuryono@sttw.ac.id

*Corresponding author : agus.jamaldi@sttw.ac.id

Article History:

Online first:

31 July 2021

Keywords: *Downdraft, Gasification, Insulator, Rice husk*

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of using an insulator on the performance of a downdraft gasification furnace. The three insulating materials used are brick powder, solid stone powder and sand. The main parameters used as a benchmark for the performance of the gasification furnace are the combustion temperature and the duration of the effective flame produced from biomass fuel. The biomass used in this study is rice husk. The research was carried out in two steps. The first step was testing the performance of the gasification furnace without using an insulator. The second step is testing using an insulator mounted on the wall of the gasification furnace. The test results without the insulator obtained an average flame temperature of 272°C and an effective flame for 53 minutes. Testing with an insulator gave the average flame temperature with brick powder material of 506°C with an insulator temperature of 102°C and an effective flame for 54 minutes. The rock powder insulator gave the average flame temperature is 484°C with an insulator temperature of 134°C and an effective flame for 53 minutes. While the sand insulator has an average flame temperature of 466°C, an insulator temperature of 146°C and an effective flame for 52 minutes. Based on the results of research conducted, the performance of gasification furnaces using insulators increases compared to furnaces without insulators. The brick powder insulator increases the performance of the gasification furnace by 90.2%, while for the rock powder and sand by 83.2% and 77.6%, respectively. These results indicate that brick powder is the most optimal insulator compared to solid stone powder and sand.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan isolator terhadap performa tungku gasifikasi tipe *downdraft*. Tiga material isolator yang digunakan yaitu serbuk batu bata, serbuk batu padas dan pasir. Parameter utama yang digunakan sebagai tolok ukur kinerja tungku gasifikasi yaitu temperatur pembakaran

Kata Kunci: *Downdraft*,
Gasifikasi, Isolator, Sekam Padi

dan durasi nyala efektif api yang dihasilkan dari bahan bakar biomassa. Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah sekam padi. Penelitian dilakukan dengan dua tahap, tahap pertama dilakukan pengujian kinerja tungku gasifikasi tanpa menggunakan isolator. Tahap kedua yaitu dilakukan pengujian dengan menggunakan isolator yang dipasang pada dinding tungku gasifikasi. Hasil pengujian tungku tanpa isolator didapatkan temperatur rata-rata nyala api sebesar 272°C dan nyala efektif api selama 53 menit. Pengujian dengan penambahan isolator didapatkan temperatur rata-rata nyala api dengan material serbuk batu bata sebesar 506°C dengan temperatur isolator 102°C dan nyala efektif api selama 54 menit. Untuk serbuk batu padas temperatur rata-rata nyala api sebesar 484°C dengan temperatur isolator 134°C dan nyala efektif api selama 53 menit. Sedangkan isolator pasir temperatur rata-rata nyala api sebesar 466°C, temperatur isolator 146°C dan nyala efektif api selama 52 menit. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka kinerja tungku gasifikasi dengan menggunakan isolator meningkat dibandingkan tungku tanpa isolator. Isolator serbuk batu bata meningkatkan kinerja tungku gasifikasi sebesar 90,2% sedangkan untuk serbuk batu padas dan pasir masing-masing sebesar 83,2% dan 77,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa serbuk batu bata merupakan isolator yang paling optimal dibandingkan dengan serbuk batu padas dan pasir.

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil diprediksi akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2030 [1]. Kebutuhan akan bahan bakar fosil guna memenuhi kebutuhan sehari-hari berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber daya penghasilnya. Seiring berjalannya waktu, ketersediaan bahan bakar fosil semakin berkurang. Untuk mengantisipasi cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis, maka menuntut kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi agar dapat menciptakan berbagai skema untuk menghasilkan bahan bakar alternatif agar keberlangsungan hidup terus berjalan. Berbagai metode untuk menciptakan bahan bakar alternatif telah banyak dikembangkan oleh para peneliti, salah satu dari metode tersebut adalah gasifikasi.

Gasifikasi adalah suatu proses merubah material yang mengandung *karbonaceous* menjadi gas sintesis yang merupakan penguraian antara hidrogen (H_2) dan *carbon monoksida* (CO) dengan menggunakan jumlah *oksidizer* (oksigen) yang terbatas [2- 3]. Gas yang dihasilkan selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Teknologi ini telah diterapkan secara komersial dari abad lalu untuk menghasilkan bahan bakar gas yang digunakan untuk berbagai aplikasi. Beberapa jenis sumber energi yang dapat digunakan untuk menciptakan energi baru dan terbarukan pada proses gasifikasi antara lain, biomassa dan limbah padat yang bersumber dari sumber energi terbarukan [4-5]. Beberapa contoh biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pada proses gasifikasi ini antara lain sekam padi [6], kulit jagung [7], serbuk gergaji [8], serpihan kayu [9] dll.

Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar utama pada proses gasifikasi juga menjadi pertimbangan penting. Karakteristik dari tiap biomassa akan mempengaruhi kinerja dari proses gasifikasi itu sendiri. Aspek penting yang harus diperhatikan dalam memilih biomassa diantaranya adalah kandungan air didalamnya, jumlah abu dan tar sisa pembakaran. Sekam padi merupakan salah satu biomassa yang banyak tersedia di Indonesia dengan potensi tahunan sebesar 21.114.074 ton/tahun yang setara dengan 13.662 MWe tenaga listrik [10]. Penelitian penggunaan sekam padi sebagai bahan bakar pada proses gasifikasi telah dilakukan oleh

peneliti terdahulu. Gibran, dkk. [11] melakukan eksperimen dengan bahan bakar sekam padi menggunakan tungku gasifikasi tipe *downdraft*. Fokus penelitian adalah menganalisis kinerja tungku gasifikasi yang dipengaruhi oleh penambahan sumber aliran udara yang masuk ke dalam tungku. Hasil yang didapat yaitu gas hasil pembakaran biomassa dengan nilai tertinggi didapatkan pada kondisi *air-fuel ratio* (AR) sebesar 80%.

Tiga tipe *gasifier* (tungku gasifikasi) yang umum digunakan dan telah banyak dilakukan penelitian terkait kinerjanya yaitu *fluidized bed* [12], *entrained flow bed* [13], dan *fixed bed*. Masing-masing tipe memiliki kekurangan dan keunggulan tersendiri. Kazimierski, dkk. [14] melakukan eksperimen terkait perpindahan panas dari partikel biomassa di dalam tungku gasifikasi tipe *downdraft* dengan menggunakan metode *radiographic*. Fokus penelitian yang dilakukan adalah mengamati jumlah panas yang dihasilkan oleh partikel biomassa yang dipengaruhi oleh kecepatan pergerakannya di dalam tungku gasifikasi. Penelitian menggunakan tungku gasifikasi tipe *downdraft* juga pernah dilakukan oleh Sharma, dkk. [15]. Sakhiya, dkk. [16] melakukan analisis kandungan unsur dan kehilangan panas yang terjadi pada tungku gasifikasi dengan variasi biomassa sebagai bahan bakar utama. Kehilangan panas (*heat loss*) pada suatu permukaan terjadi karena adanya aliran udara yang melewati permukaan tersebut [17-18]. Hal ini juga terjadi pada selimut tungku gasifikasi. Kehilangan panas ini menyebabkan menurunnya kinerja tungku gasifikasi itu sendiri. Untuk meningkatkan kinerja tungku gasifikasi maka dapat dilakukan dengan cara mengurangi kehilangan panas pada tungku dengan cara menambahkan isolator di bagian dinding atau selimut tungku gasifikasi. Penelitian terkait penambahan isolator pada dinding tungku gasifikasi ini telah dilakukan oleh Firmansyah dan Indaka [19], di mana dalam penelitian yang dilakukan, isolator yang digunakan adalah triplek dengan variasi ketebalan yang berbeda. Hasil penelitian didapatkan laju perpindahan panas paling kecil dari dinding tungku ke lingkungan ketika menggunakan isolator triplek dengan ketebalan 9 mm.

Mengacu dari beberapa penelitian terkait kinerja tungku gasifikasi yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, maka penelitian ini berfokus pada analisis kinerja tungku gasifikasi tipe *downdraft* yang dipengaruhi oleh penambahan isolator pada dinding tungku. Bahan isolator yang digunakan adalah bahan ramah lingkungan dan banyak tersedia di lingkungan sekitar, yaitu serbuk batu bata, serbuk batu padas dan pasir. Kinerja tungku gasifikasi dianalisis berdasarkan temperatur nyala api, dan lamanya nyala efektif api yang dihasilkan.

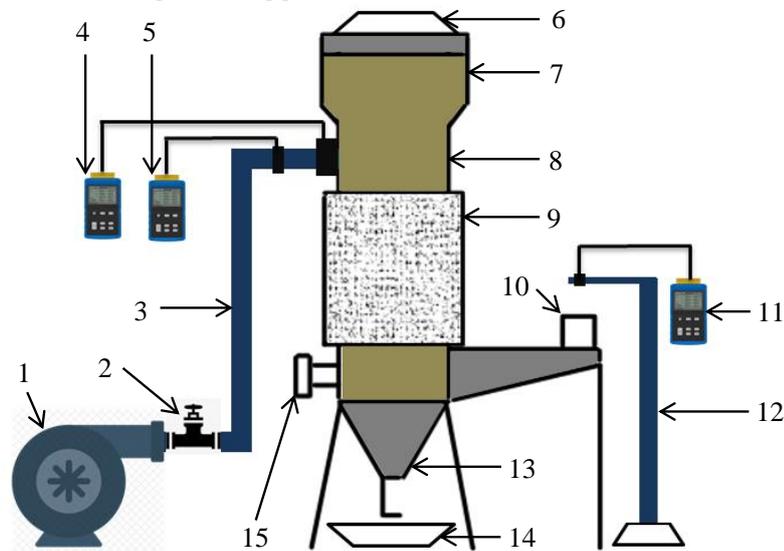
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan tungku gasifikasi tipe *downdraft*. Sekam padi dimanfaatkan sebagai bahan bakar utama tungku gasifikasi. Terdapat tiga jenis bahan isolator yang digunakan yaitu serbuk batu bata, serbuk batu padas dan pasir. Untuk melihat pengaruh dari penggunaan isolator terhadap performa tungku gasifikasi tipe *downdraft*, maka dilakukan pengujian melalui berapa tahapan. Tahap awal adalah preparasi tungku gasifikasi yakni memasang bahan isolator serta memasukan bahan bakar berupa sekam padi sebanyak 2,5 kg. Selanjutnya tungku gasifikasi dialiri udara dengan kecepatan 6 m/s, pengukuran kecepatan aliran udara dalam tungku tersebut dilakukan menggunakan alat anemometer. Arang kayu dengan masa 9 gram yang telah membara dimanfaatkan sebagai media penyalaan awal sekam padi di dalam tungku gasifikasi. Tahapan selanjutnya adalah mengukur temperatur isolator dan nyala api menggunakan thermokopel. Selain mengukur temperatur, durasi nyala efektif api diamati dari api mulai menyala di dalam tungku sampai api padam.

Instalasi Pengujian

Skema tungku gasifikasi dalam penelitian ini ditampilkan pada gambar 1. Beberapa peralatan pendukung pada kinerja tungku gasifikasi ini yaitu *blower* yang berfungsi sebagai pemasok

utama udara ke dalam tungku. Untuk mengukur perubahan temperatur di dalam tungku, bagian isolator dan nyala api digunakan thermokopel *reader*. Kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam tungku diukur dengan menggunakan anemometer.



Gambar 1. Instalasi Pengujian

Keterangan

- | | | | |
|---|-----------------------------|----|-----------------------|
| 1 | Blower | 9 | Isolator |
| 2 | Katup suplai udara | 10 | Burner |
| 3 | Saluran udara masuk | 11 | Thermocouple reader 2 |
| 4 | Thermocouple reader 1 | 12 | Sensor clamp |
| 5 | Anemometer | 13 | Saluran keluar abu |
| 6 | Tutup | 14 | Tempat abu |
| 7 | Storage (Saluran Pengisian) | 15 | Lubang penyalaan awal |
| 8 | Ruang pembakaran | | |

Tahapan Proses Gasifikasi

Tahapan proses gasifikasi terbagi menjadi empat, yaitu pengeringan (*drying*), pirolisis, oksidasi, dan reduksi (gasifikasi). Tahap pengeringan terjadi pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah yaitu memiliki temperatur di bawah 150°C . Tujuan pengeringan ini adalah agar pengapian pada *burner* terjadi lebih cepat dan nyala api lebih stabil. Pada tahap ini, kandungan air pada bahan bakar dihilangkan dengan cara diuapkan. Tahap kedua adalah pirolisis. Proses ini terjadi ketika biomassa mulai mengalami kenaikan temperatur. Pada tahap ini volatil yang terkandung di dalam biomassa terlepas dan menghasilkan arang (*char*). Proses pirolisis pada bahan bakar biomassa di dalam reaktor terjadi pada kisaran temperatur 150°C sampai 300°C . Tahap selanjutnya yaitu oksidasi. Oksidasi atau pembakaran merupakan tahapan penting yang terjadi di dalam *gasifier*. Pada reaksi ini menghasilkan seluruh energi panas yang dibutuhkan pada reaksi endotermik. Oksigen yang disuplai ke dalam reaktor akan bereaksi dengan bahan bakar yang mudah terbakar. Dari reaksi tersebut akan menghasilkan gas CO_2 dan H_2O yang secara berurutan direduksi ketika saling kontak dengan arang yang dihasilkan dari proses pirolisis. Tahap terakhir yaitu proses gasifikasi, di mana pada reaksi ini melibatkan rangkaian reaksi endotermik yang didukung oleh energi panas serta diproduksi dari reaksi pembakaran. Reaksi ini terjadi pada kisaran temperatur 500°C sampai 1000°C . Produk yang dihasilkan dari proses ini adalah gas bakar, seperti H_2 , CO , dan CH_4 .

Isolator

Isolator adalah bahan yang mempunyai kemampuan termal untuk menghambat atau mengisolasi energi panas. Tujuan penggunaan isolator yaitu sebagai penahan dan pelindung panas pada reaktor tungku gasifikasi agar panas tidak terlalu banyak terbuang karena pengaruh kondisi lingkungan sekitar. Konduktivitas termal dari tiga macam isolator yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Konduktivitas Termal Bahan Isolator [20]

| Bahan | Konduktivitas Termal (k) (W/m ⁰ C) |
|------------|---|
| Batu Bata | 0,69 |
| Batu Padas | 1,26 – 1,33 |
| Pasir | 1,83 |

Perhitungan Nyala Efektif Api

Nyala api efektif dihitung dari lamanya waktu mulai pengujian sampai dengan api padam dikurangi dengan lama waktu penyalaan bahan bakar, untuk perhitungan ini digunakan persamaan berikut.

$$NE = WP - WI \quad (1)$$

Di mana:

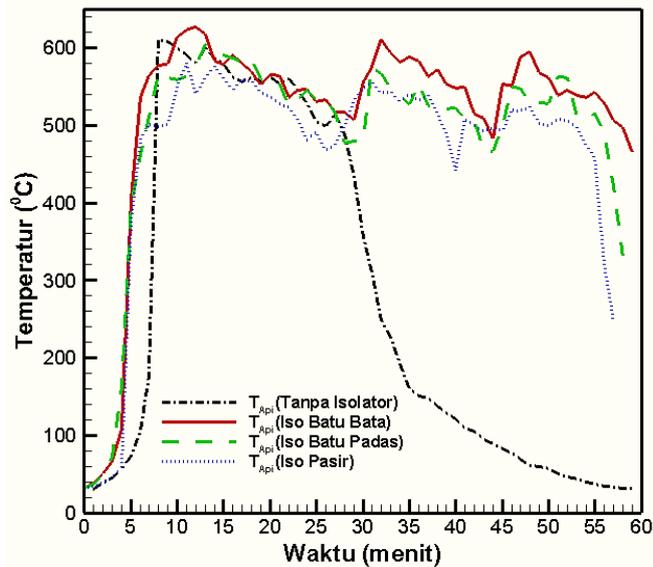
- NE Nyala Efektif (menit)
- WP Waktu Pengujian (menit)
- WI Waktu Penyalaan (menit)

HASIL DAN DISKUSI

Perbandingan Temperatur Nyala Efektif Api

Perbandingan nyala efektif api tungku gasifikasi tanpa isolator dengan menggunakan isolator ditampilkan pada gambar 2. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nyala api yang paling lama dengan kondisi pengujian yang sama dengan tiga variasi bahan isolator yang berbeda didapatkan isolator serbuk batu bata mampu menghasilkan nyala efektif api paling lama yaitu selama 54 menit. Sedangkan untuk isolator serbuk batu padas dan pasir masing-masing selama 53 menit dan 52 menit.

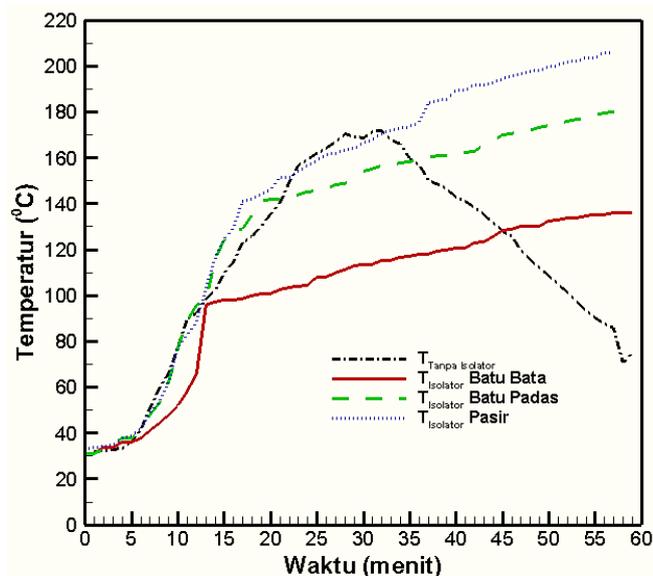
Hasil analisis juga menunjukkan peningkatan kinerja tungku gasifikasi dengan isolator dibandingkan dengan tungku tanpa isolator. Terlihat jelas bahwa pada tungku tanpa isolator temperatur nyala api berada pada posisi tertinggi pada menit ke 7, selanjutnya terjadi penurunan drastis sampai akhir pembakaran. Sedangkan pada tungku dengan tambahan isolator, temperatur nyala api cenderung lebih tinggi sampai akhir proses pembakaran. Berdasarkan hal ini, maka menunjukkan bahwa penggunaan isolator memberikan pengaruh yang signifikan pada temperatur nyala api pada tungku gasifikasi. Peningkatan kinerja tungku gasifikasi dengan menggunakan isolator serbuk batu bata sebesar 90,2%, 83,2% dengan isolator serbuk batu padas, dan 77,6% dengan isolator pasir.



Gambar 2. Temperatur Nyala Api

Perbandingan Temperatur Isolator

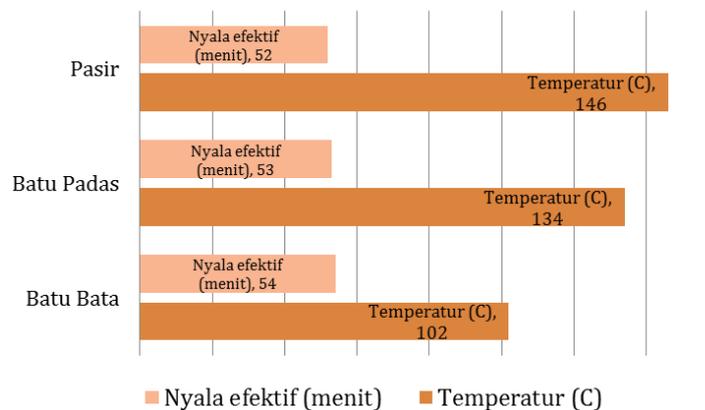
Perbandingan temperatur isolator pada tungku gasifikasi ditampilkan pada gambar 3. Pada 5 menit pertama peningkatan temperatur yang terjadi belum begitu berarti. Setelah menit ke 5 terlihat peningkatan temperatur yang signifikan. Peningkatan temperatur terjadi secara terus menerus sampai api di dalam tungku padam. Secara berurutan temperatur tertinggi dengan menggunakan isolator pasir sebesar 206°C pada menit ke 55, isolator serbuk batu padas sebesar $181,7^{\circ}\text{C}$ pada menit ke 57, dan isolator serbuk batu bata sebesar $137,7^{\circ}\text{C}$ pada menit ke 59. Berdasarkan hasil yang didapat ini, maka isolator serbuk batu bata merupakan isolator yang paling baik dibandingkan dengan serbuk batu padas dan pasir. Jika ditinjau hubungan antara temperatur isolator dengan lama waktu nyala efektif api yang dihasilkan, didapatkan hubungan bahwa semakin rendah temperatur dinding tungku maka waktu nyala efektif api semakin lama, sehingga penggunaan isolator pada tungku gasifikasi mempengaruhi kinerja yang dihasilkan.



Gambar 3. Perbandingan Temperatur Isolator

Hubungan antara temperatur isolator dengan lama waktu nyala efektif api ditampilkan pada gambar 4. Hubungan ini menegaskan kembali bahwa temperatur isolator berpengaruh terhadap lamanya durasi nyala efektif api yang dihasilkan oleh tungku gasifikasi. Terjadi hubungan terbalik antara temperatur isolator dan nyala efektif api. Pada gambar 4, untuk variabel temperatur digunakan temperatur rata-rata dari isolator.

Hasil yang didapatkan ini sesuai dengan tabel referensi [20], di mana dari ketiga jenis isolator yang digunakan batu bata memiliki nilai konduktivitas thermal yang paling rendah dibandingkan batu padas dan pasir. Jika suatu bahan memiliki konduktivitas termal rendah maka bahan tersebut merupakan isolator panas yang baik.



Gambar 4. Hubungan Temperatur Isolator dengan Nyala Efektif Api

KESIMPULAN

Penelitian terkait pengaruh penggunaan isolator terhadap kinerja tungku gasifikasi tipe *downdraft* telah selesai dilakukan dengan menganalisis temperatur isolator dan lama waktu nyala efektif api yang dihasilkan. Hasil penelitian didapatkan bahwa penggunaan isolator memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja tungku gasifikasi. Dari ketiga jenis isolator yang digunakan, serbuk batu bata merupakan isolator terbaik dibandingkan dengan isolator serbuk batu padas maupun pasir dilihat dari temperatur rata-rata tertinggi dari masing-masing bahan tersebut. Nyala efektif api dengan menggunakan isolator serbuk batu bata juga didapatkan durasi yang paling lama. Hasil analisis menunjukkan penggunaan isolator meningkatkan kinerja tungku gasifikasi. Peningkatan yang terjadi sebesar 90,2% dengan isolator serbuk batu bata, 83,2% dengan serbuk batu padas dan 77,6% dengan isolator pasir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Energi dan Perubahan Iklim," Laporan Analisis Lingkungan Indonesia.
- [2] I. Janajreh, I. Adeyemi, S. S. Raza, and C. Ghenai, "A review of recent developments and future prospects in gasification systems and their modeling," *Renew. Sustain. Energy Rev.*
- [3] P. J. Woolcock and R. C. Brown, "A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas," *Biomass Bioenergy*, vol. 52, no. 2013, pp. 54–84.
- [4] K. Srirangan, L. Akawi, M. Moo-Young, and C. P. Chou, "Towards sustainable production of clean energy carriers from biomass resources," *Appl. Energy*, vol. 100, no. 2012, pp. 172–186.
- [5] A. L. Ahmad, N. H. Mat Yasin, C. J. C. Derek, and J. K. Lim, "Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 2011, pp. 584–593.
- [6] C. Z. Wu, H. Huang, S. P. Zheng, and X. L. Yin, "An economic analysis of biomass gasification and power generation in China," *Bioresour. Technol.*, vol. 83, no. 2002.

- [7] C. Gai and Y. Dong, "Experimental study on non-woody biomass gasification in a downdraft gasifier," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 37, pp. 4935–4944.
- [8] M. Simone, F. Barontini, C. Nicoletta, and L. Tognotti, "Gasification of pelletized biomass in a pilot scale downdraft gasifier," *Bioresour. Technol.*, vol. 116, no. 2012, pp. 403–412.
- [9] Vladimirs Kirsanovs et al., "Biomass gasification for district heating," *Int. Sci. Conf. Environ. Clim. Technol. CONECT 2016*, pp. 217–223.
- [10] R. O. I. Ministry Of Energy And Mineral Resources, *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2013*.
- [11] F. . Gibran et al., "Optimization Of Fixed Bed Downdraft Reactor For Rice Husk Biomass Gasification Using Secondary Air Intake Variation," *Int. J. Technol.*, vol. 2, no. 2018, pp. 390–399.
- [12] A. Gomez_Barea and B. Leckner, "Modeling of biomass gasification in fluidized bed," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 36, no. 2010, pp. 444–509.
- [13] J. Kim, H. Oh, S. Lee, and Y.-S. Yoon, "Advanced One-Dimensional Entrained-Flow Gasifier Model Considering Melting Phenomenon of Ash," *Energies*, vol. 11, no. 2018.
- [14] P. Kazimierski, P. Hercel, and D. Kardas, "Dynamics of movement and heat transfer for biomass particles in downdraft gasifier - Experimental measurements with the use of radiographic methods," *Fuel Process. Technol.*, vol. 210, no. 2020.
- [15] P. Sharma, B. Gupta, M. Pandey, K. S. Bisen, and P. Baredar, "Downdraft biomass gasification: A review on concepts, designs analysis, modelling and recent advances".
- [16] A. K. Sakhiya, A. Chaturvedi, V. Barasara, K. Panchal, D. S. Upadhyay, and R. N. Patel, "Elemental and Heat Loss Analysis of Different Feedstock in Downdraft Gasifier," *J. Energy Environ. Sustain.*, vol. 7, no. 2019, pp. 10–16.
- [17] A. Jamaldi and H. K. Hassan, "Performance prediction of trailing-edge cooling system of gas turbine blade using detached eddy simulation," *Appl. Res. Smart Technol.*, vol. 1, no. 2020, pp. 16–21.
- [18] A. Prasetyo and A. Surono, "Studi Eksperimental Pergerakan Temperatur Radiator Terhadap Putaran Mesin (Rpm) Dengan Kecepatan Kipas Constant," *Creat. Res. Eng.*, vol. 1, no. 2021, pp. 33–39.
- [19] F. Burlian and M. I. Khoirullah, "Pengaruh Variasi Ketebalan Isolator Terhadap Laju Kalor Dan Penurunan Temperatur Pada Permukaan Dinding Tungku Biomassa," presented at the Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI9) 2014, Bali, Nov. 2014.
- [20] J. P. Holman, *Heat Transfer*, 10th ed. Mc Graw Hill.