



Kompatibilitas Penambahan *Wet Scrubber* Untuk Pengurangan Kandungan Tar Pada *Downdraft Gasifier*

Achmad Aziizudin* dan Harwin Saptoadi

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:

101 – 107

Tanggal penyerahan:

21 November 2022

Tanggal diterima:

07 Desember 2022

Tanggal terbit:

31 Desember 2022

EMAIL

aziizudin2@gmail.com

*corresponding author

ABSTRACT

The amount of energy needed for daily needs causes fossil energy sources to decrease, so that efforts to develop other energy sources continue to be carried out. Biomass that has undergone further processing can be a renewable energy source. Gasification is one of the processes of processing biomass into a source of energy in the form of gas, but during this process there will be a lot of tar content produced. The amount of tar content needs to be adjusted to the standard tar content in the produced gas. The purpose of this study was to determine, analyze, and understand the effect of adding a wet scrubber to the tar content produced with rice husks as biomass. The provision of water discharge variations of 1.5 lpm, 2 lpm, and 2.5 lpm, as well as the position of the nozzle which is varied in its placement into horizontal, vertical, and collaboration, aims to determine the discharge and compatible nozzle position on the gasifier, which is seen from the tar content. contained in producer gas. The results of this gasification research will be compared with the gasifier without the addition of a wet scrubber.

Keywords : *biomass, gasification, rice husk, wet scrubber*

ABSTRAK

Banyaknya energi yang dibutuhkan untuk kebutuhan sehari-hari menyebabkan sumber energi fosil berkurang, sehingga usaha pengembangan terhadap sumber energi-energi yang lain terus dilakukan. Biomassa yang telah mengalami proses lebih lanjut dapat menjadi salah satu sumber energi yang terbarukan. Gasifikasi merupakan salah satu proses pengolahan biomassa menjadi sumber energi dalam bentuk gas, akan tetapi selama proses ini terjadi akan banyak kandungan tar yang dihasilkan. Banyaknya kandungan tar tersebut, perlu disesuaikan dengan standar kandungan tar pada *producer gas* yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui, menganalisis, dan memahami pengaruh penambahan *wet scrubber*, terhadap kandungan tar yang dihasilkan dengan sekam padi sebagai biomassa. Pemberian variasi debit air sebesar 1,5 lpm, 2 lpm, dan 2,5 lpm, serta posisi nozzle yang divariasikan peletakannya menjadi horizontal, vertical, dan kolaborasi, bertujuan untuk mengetahui debit dan posisi nozzle yang compatible pada gasifier, yang dilihat dari kandungan tar yang terdapat pada *producer gas*. Hasil penelitian gasifikasi ini nantinya akan dibandingkan dengan gasifier tanpa penambahan *wet scrubber*.

Kata kunci : *biomassa, gasifikasi, sekam padi, wet scrubber*

PENDAHULUAN

Energi menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia untuk beraktivitas sehari-hari. Dengan terus bertambahnya populasi manusia, menyebabkan jumlah energi yang dibutuhkan bertambah. Sumber energi fosil adalah sumber energi yang banyak digunakan oleh manusia. Dikarenakan sumber energi fosil tidak dapat diperbaharui (*non-renewable energy*) dalam waktu singkat, perlu dilakukan pengembangan-pengembangan terhadap sumber energi terbarukan. Energi terbarukan berasal dari alam

yang bersifat bebas, dan tidak terbatas. Salah satu pengembangan terhadap energi terbarukan yaitu penggunaan biomassa sebagai sumber energi. Di Indonesia sendiri, dari 32.654 MWe potensi biomassa yang tersedia, baru 1.671 MWe yang dimanfaatkan[1]. Biomassa merupakan pemanfaatan limbah alam yang telah mengalami proses lebih lanjut agar biomassa menjadi sumber energi yang lebih baik, salah satunya adalah proses gasifikasi yang menggunakan gasifier, dengan produk hasil berupa *producer gas*. Gasifier yang digunakan dalam penelitian ini berjenis *fixed bed gasifier* dengan metode *downdraft*. Metode ini digunakan karena kandungan tar yang dihasilkan lebih sedikit jika dibandingkan dengan metode lain[2], dan biomassa yang digunakan adalah sekam padi. Dikarenakan tar terdapat pada *producer gas* yang akan digunakan sebagai bahan bakar mesin pembakaran, maka ada pembatasan terhadap jumlah kandungan tar yang dihasilkan agar kandungan tar tidak menimbulkan kerak pada komponen mesin, dan menjaga *durability* dari komponen mesin tersebut[3]. Kandungan tar yang dihasilkan dapat diminimalisirkan dengan penambahan *wet scrubber*. Gasifikasi yang diberikan penambahan *wet scrubber* akan menghasilkan kandungan tar yang lebih sedikit dan gas yang lebih bersih tanpa menggunakan temperatur outlet yang tinggi [3]. *Wet scrubber* menggunakan cairan seperti air sebagai media penyerap tar, dengan memvariasikan debit air yang masuk kedalam *wet scrubber*, kita dapat mengetahui seberapa besar pengaruh debit air yang masuk kedalam *wet scrubber* terhadap pengurangan kandungan tar yang terdapat pada *producer gas* yang dihasilkan.

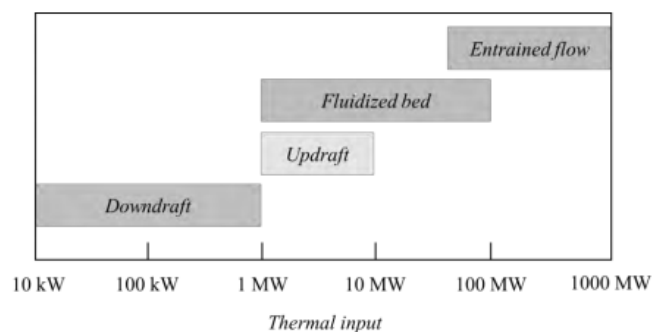
TINJAUAN PUSTAKA

Gasifikasi

Gasifikasi merupakan proses konversi sumber energi dari bahan bakar padat (biomassa) menjadi sumber energi berupa bahan bakar gas (*producer gas*). Dalam proses tersebut terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui, seperti *drying*, *pyrolysis*, *oxidation*, dan *reduction* [3]. Kandungan *producer gas* hasil gasifikasi terbagi menjadi senyawa gas mampu bakar, seperti karbon monoksida, metana, dan hydrogen, kemudian terdapat pula gas tidak mampu bakar, seperti karbon dioksida dan nitrogen [2]. Penggunaan bahan bakar gas yang lebih bersih dibandingkan menggunakan bahan bakar padat, membuat bahan bakar gas lebih diminati sebagai alternatif bahan bakar konvensional saat ini [4].

Gasifier *Downdraft*

Gasifier *downdraft* merupakan salah satu bagian dari gasifier model *fixed -bed*. Perbedaan gasifier *downdraft* dengan gasifier lainnya (*updraft* dan *crossdraft*) terletak pada arah aliran *producer gas* yang dihasilkan [3], dengan biomassa yang masuk melewati bagian atas gasifier, dan *producer gas* hasil pembakaran keluar melalui bagian bawah gasifier. Keuntungan menggunakan gasifier *downdraft* adalah kandungan tar yang terkandung didalam *producer gas* lebih sedikit, hal ini dikarenakan terjadinya *tar cracking* pada zona reduksi yang temperaturnya dapat mencapai 1000°C [3]. Kontruksi gasifier yang sederhana, menjadikan gasifier *downdraft* cocok digunakan untuk sistem pembangkit skala kecil [2]. Dari gambar berikut, dapat dilihat untuk gasifier *downdraft* menghasilkan input termal 10 kW-1 MW [3].



Gambar 1. Besaran input termal setiap gasifier
Sumber : [3]

Pengurangan Kandungan Tar

Dalam setiap proses konversi energi termal terutama gasifikasi, tar adalah produk yang tidak dapat dihilangkan. Kandungan tar yang berlebih dapat memberikan dampak yang tidak baik terhadap mesin, selain dapat merusak komponen mesin, tar yang dihasilkan dari gasifikasi biomassa dapat menurunkan kualitas *producer gas*, menghambat distribusi temperatur pada *gasifier* gasifikasi, dan jika *producer gas* digunakan untuk bahan bakar akan menghasilkan kandungan karbon tinggi. Terdapat dua metode untuk mengurangi produksi tar, yaitu dengan *in-situ tar reduction (dust cleaning)* dan *post-gasification-secondary reduction of tar (tar and dust cleaning, catalytic tar reduction)* [3].

Wet Scrubber

Wet scrubber merupakan salah satu jenis *scrubber* yang berfungsi untuk menangkap atau menyaring partikel-partikel dan tar yang terkandung didalam *producer gas*. Dalam prosesnya cairan yang digunakan pada *wet scrubber* disemprotkan langsung ke *producer gas*, sehingga partikel-partikel dan tar pada *producer gas* akan terbawa oleh cairan *scrubber*. Aliran *producer gas* yang telah bersih, dapat langsung dialirkan menuju *flare* dan *impinging bottle* yang berisi cairan *isopropanoli* untuk mengetahui kandungan tar yang terdapat pada *producer gas*. Sistem pengurangan kandungan tar menggunakan *scrubber* akan menghasilkan *producer gas* yang lebih bersih, temperatur outlet yang lebih rendah, dan kandungan energi yang lebih tinggi [3].

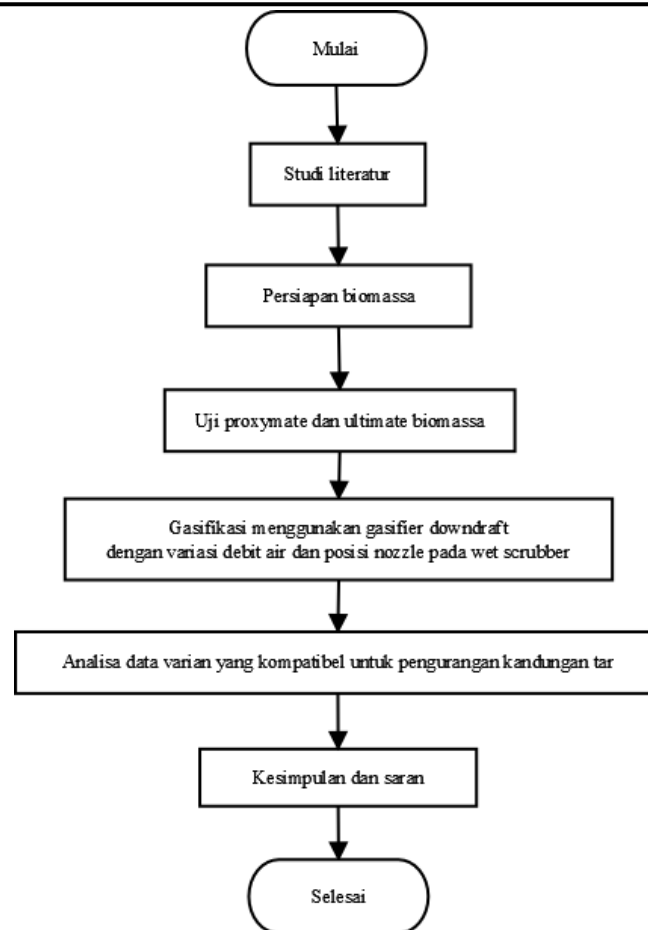
METODE

Studi literatur menjadi tahap awal pada penelitian ini, dari studi literatur dapat dilakukan identifikasi terhadap pemilihan biomassa untuk gasifikasi. Pada penelitian ini, biomassa yang digunakan adalah sekam padi. Tahap berikutnya yaitu *treatment* biomassa (penjemuran sekam padi selama 3 hari), hal ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air dan kelembapan yang terkandung didalam biomassa. Sekam padi yang telah di *treatment*, kemudian diuji *proxymate* dan *ultimate*.

Setelah tahapan awal selesai dilanjutkan ke tahap pengujian dan pengambilan data. Gasifikasi dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Universitas Gajah Mada, menggunakan gasifier *downdraft* yang memiliki ukuran diameter dalam dan luar 300 dan 400 mm, dengan ketinggian 725 mm, dan biomassa yang digunakan pada gasifikasi sebanyak 5 kg. Penelitian ini memvariasikan debit air digunakan pada *wet scrubber*, dan posisi peletakan nozzle. Besaran debit yang diberikan adalah 1,5 lpm, 2 lpm, dan 2,5 lpm, dan nozzle diletakan secara horizontal, vertikal, dan kombinasi (horizontal dan vertikal dipasang bersamaan). Hasil gasifikasi (*producer gas*) dialirkan menuju rangkaian *impingner bottle* yang berisi cairan *isopropanol*. Saat melewati rangkaian tersebut, tar akan terkondensasi dengan cairan *isopropanol*, yang selanjutnya cairan tersebut di oven pada suhu 50 °C selama 17 jam. Pengovenan ini bertujuan untuk menguapkan *isopropanol*, sehingga yang tersisa pada bejana hanya tar [2]. *Producer gas* juga di sampling sebanyak 10 ml menggunakan *syringe* untuk dilakukan uji *gas chromatogram*. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui besaran senyawa yang terkandung didalam *producer gas*, seperti *carbon monoxide*, *methane*, *hydrogen*, dan *carbon dioxide*.

Tahapan analisis dan pengolahan data menjadi tahapan terpenting pada penelitian ini. Data hasil gasifikasi masih bersifat mentah, dan perlu diolah menjadi data yang siap dipresentasi. Pengolahan data yang dilakukan seperti melakukan perhitungan kandungan tar, nilai kalor *producer gas*, dan *cold gas efficiency*.

Berikut ditunjukkan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dalam bentuk diagram alur penelitian.



Gambar 2. Diagram alur metode penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji *Proxymate* dan *Ultimate*

Pengujian *proxymate* dan *ultimate* dilakukan di Laboratorium Puslitbang Tekmira, Kementerian ESDM, Bandung. Tujuan pengujian *proxymate* adalah untuk mengetahui kelembapan dan nilai kalor yang terkandung didalam sekam padi tersebut, dan tujuan analisis *ultimate* adalah untuk mengetahui persentase kandungan senyawa C, H, N, S, dan O [2]. Hasil uji *proxymate*, dan *ultimate* sekam padi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis *proxymate*, dan *ultimate* sekam padi

<i>Proxymate Analys</i>	
Variabel Uji	Hasil (%)
<i>Fixed Carbon</i>	12,83
<i>Volatille matter</i>	56,20
<i>Ash</i>	21,17
<i>Moisture</i>	9,80
<i>Ultimate Analys</i>	
Variabel Uji	Hasil (%)
C	34,05
H	5,35
O	39,14
N	0,17
S	0,12
HHV 13,393 MJ/Kg	

Note : Hasil uji *proxymate* dan *ultimate* merujuk pada [2]

Rumus senyawa kimia biomassa dinyatakan dalam bentuk $C_xH_yO_zN_k$, besaran nilai x, y, k, dan z diperoleh dari persamaan (1) untuk nilai x, (2) untuk nilai y, (3) untuk nilai z, dan (4) untuk nilai k.

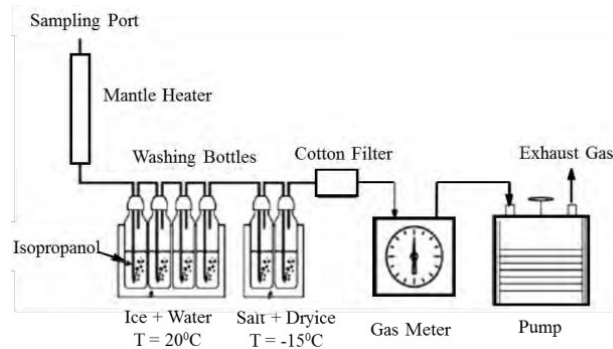
$$x = \frac{\%C}{AW_c} = \frac{\%C}{12} \dots(1) \quad y = \frac{\%H}{AW_k} = \frac{\%H}{1} \dots(2)$$

$$z = \frac{\%O}{AW_o} = \frac{\%O}{16} \dots(3) \quad k = \frac{\%N}{AW_k} = \frac{\%N}{14} \dots(4)$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (1), (2), (3), dan (4), maka diperoleh rumus senyawa kimia biomassa sekam padi $C_{2,84}H_{5,35}O_{2,45}N_{0,01}$.

Kandungan Tar

Pengujian kandungan tar dilakukan dengan mengalirkan rangkaian *producer gas* kedalam rangkaian *impinger bottle* yang berisi 50 ml cairan *isopropanol* di setiap botolnya. Proses ini dilakukan selama 30 menit dengan kecepatan aliran *producer gas* yang masuk sebesar 8 lpm, pengukuran kecepatan aliran menggunakan rotameter gas. Untuk rangkaian *impinger bottle* dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Rangkaian *impinger bottle*

Sumber : [5]

Tar yang melewati rangkaian *impinger bottle* akan terkondensasi dengan cairan *isopropanol*, untuk selanjutnya cairan tersebut dioven pada temperatur 50 °C selama 17 jam. Setelah pengovenan, tar akan mengendap di bejana dan selanjutnya dilakukan penimbangan pada bejana tersebut. Analisis perhitungan kandungan tar, dapat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$Kandungan\ tar = \frac{m_{tar}}{Q_{producer\ gas} \times t} \dots(5)$$

Dimana :

m_{tar} =massa tar yang mengendap setelah dioven (gram)

$Q_{producer\ gas}$ =Debit aliran *producer gas* yang melewati *impinger bottle* (lpm)

t = lama waktu pengambilan sample (menit)

Tabel 2. Hasil perhitungan kandungan tar

Data ke-	Varian Debit Cairan <i>Wet Scrubber</i> (lpm)	Varian Arah Nozzle	Kandungan Tar (g/Nm ³)
1.	1,5	Vertikal	1,79
2.		Horizontal	1,87
3.		Kombinasi	2,42
4.	2	Vertikal	1,70
5.		Horizontal	1,83
6.		Kombinasi	1,58
7.	2,5	Vertikal	1,67
8.		Horizontal	1,29

9.		Kombinasi	1,20
----	--	-----------	------

Dari hasil perhitungan kandungan tar pada tabel 2 dengan menggunakan persamaan (5) dapat dilihat untuk gasifikasi biomassa sekam padi menggunakan gasifier *downdraft* dengan penambahan *wet scrubber*, pengurangan kandungan tar yang paling banyak terdapat pada varian debit 2,5 lpm dengan arah nozzle kombinasi (vertikal dan horizontal), yaitu sebesar 1,20 g/Nm³. Dengan ini dapat ditarik kesimpulan penambahan *wet scrubber* terbukti efektif untuk menurunkan kandungan tar pada *producer gas*, mengingat kandungan tar yang diperoleh pada proses gasifikasi biomassa sekam padi menggunakan gasifier *downdraft* tanpa penambahan *wet scrubber* berkisar antara 5,8-53,3 g/Nm³ [2].

Analisis Nilai Kalor *Producer Gas*

Nilai kalor *producer gas* diperoleh dari perhitungan *HHV* persentase dari gas mampu bakar yang terdapat didalam *producer gas*. Perhitungan nilai kalor *producer gas* menggunakan persamaan (6) berikut.

$$HHV_g = \frac{[(x_1 \cdot HHV)_{CO} + (x_3 \cdot HHV)_{H_2} + (x_4 \cdot HHV)_{CH_4}]}{100} \quad \dots(6)$$

Besaran nilai x_1 , x_3 dan x_4 diperoleh dari hasil uji *gas chromatogram* pada sample *producer gas* data ke-9 pada tabel 2. Untuk besaran nilai *HHV* tiap senyawa gas mampu bakar merujuk pada tabel 3, dan untuk hasil uji *gas chromatogram* dapat dilihat pada gambar 4.

Tabel 3. Kandungan *HHV* senyawa gas mampu bakar

Senyawa	<i>HHV</i> (MJ/Nm ³)
CO	12,71
H ₂	12,78
CH ₄	39,76

Note : Kandungan *HHV* senyawa gas mampu bakar merujuk pada [2]

Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (6) diperoleh hasil nilai kalor *producer gas* pada gasifikasi biomassa sekam padi dengan penambahan *wet scrubber* sebesar 2,16 MJ/Nm³, dengan nilai fraksi CO, H₂, CH₄ sebesar 12,588%, 9,357%, dan 0,865%. Jika merujuk kepada nilai kalor *producer gas* yang diperoleh dari gasifikasi tanpa penambahan *wet scrubber* yaitu sebesar 3,34 MJ/Nm³ [2]. Hal ini dikarenakan nilai kalor *producer gas* dipengaruhi oleh nilai fraksi. Penyebab nilai fraksi pada *producer gas* ini lebih rendah, dikarenakan senyawa yang terdapat pada *producer gas* bereaksi dengan senyawa yang terdapat pada cairan absorben, mengingat cara kerja dari *wet scrubber* yaitu cairan absorben disemprotkan langsung ke *producer gas*.

Analisis *Cold Gas Efficiency*

Prosedur untuk mencari nilai *cold gas efficiency* (persamaan (10)), dapat dimulai dari menghitung banyaknya *producer gas* yang dihasilkan dari setiap kilogram biomassa (persamaan (7)), menghitung massa jenis *producer gas* (persamaan (8)), menghitung energi yang dihasilkan *producer gas* dari setiap kilogram biomassa (persamaan (9)) [2]. Untuk menghitung *cold gas efficiency* dapat menggunakan persamaan (10).

$$m_g = \frac{\sum x_i \cdot MW_i}{n} \quad \dots (7)$$

$$\rho_g = \frac{[(X_1 \cdot \rho)_{CO} + (X_2 \cdot \rho)_{CO_2} + (X_3 \cdot \rho)_{H_2} + (X_4 \cdot \rho)_{CH_4} + X_3 \cdot \rho]_{N_2}}{100} \quad \dots(8)$$

$$E_g = \frac{m_g \cdot HHV_g}{\rho_g} \quad \dots(9)$$

$$CGE = \frac{E_g}{HHV_f} \quad \dots(10)$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai besaran untuk *Cold Gas Efficiency* gasifikasi biomassa sekam padi dengan penambahan *wet scrubber* sebesar 64,7%. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan *cold gas efficiency* pada gasifier tanpa penambahan *wet scrubber*. Hal ini dikarenakan besar kecilnya nilai *cold gas efficiency*, tergantung dari besar kecilnya kandungan gas yang terdapat pada setiap kilogram biomassa (*gas yield*). Semakin besar nilai *gas yield* maka *cold gas efficiency* yang dihasilkan akan semakin besar, dan sebaliknya, semakin kecil nilai *gas yield* maka *cold gas efficiency* yang dihasilkan akan semakin kecil [2, 6-9].

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan, penambahan *wet scrubber* pada gasifier downdraft sangat efektif untuk mengurangi kandungan tar sebanyak 79,3-97,7%. Akan tetapi penambahan *wet scrubber* berdampak pada nilai kalor *producer gas*, dan *cold gas efficiency* yang mengalami penurunan sebanyak 35,3%, dan 17,5% dari gasifikasi tanpa penambahan *wet scrubber*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya berterimakasih kepada teman-teman, dan dosen yang tergabung didalam tim World Class Research (WCR), dan pihak-pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu atas dukungan dan doanya, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perpres 22 Tahun 2017, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rancangan Umum Energi Nasional.
- [2] Susastriawan, A.A.P., Saptoadi, H., Purnomo., 2018, Comparison of The Gasification Performance in The Downdraft Fixed-Bedgasifier Fed By Different Feedstocks: Rice Husk, Sawdust, And Their Mixture, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 34, pp. 27–34.
- [3] Basu, P., 2010, Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory, *Elsevier Inc*.
- [4] Hernández, J.J., Aranda-Almansa, G. & Bula, A., 2010. Gasification of biomass wastes in an entrained low gasifier: Effect of the particle size and the residence time. *Fuel Processing Technology*, 91(6), p.681–692.
- [5] Son, Y. *et al.*, 2011. Gasification and Power Generation Characteristics of Woody Biomass Utilizing a Downdraft Gasifier. *Biomass and Bioenergy*, pp.4215–4220.
- [6] Muliawati, E. C., Santoso, M., Ismail, A. F., Jaafar, J., Salleh, M. T., Nurherdiana, S. D., & Widiastuti, N. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated polyetherimide new blends membrane promising for direct methanol fuel cell. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(3), 659-668.
- [7] Muliawati, E. C., Ismail, A. F., Jaafar, J., Widiastuti, N., Santoso, M., Taufiq, M., ... & Atmaja, L. (2019). Sulfonated PEI membrane with GPTMS-TiO₂ as a filler for potential direct methanol fuel cell (DMFC) applications. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 15(4), 555-560.
- [8] Muliawati, E. C., Widiastuti, N., Santoso, M., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Poly (Eugenol Sulfonate)-Sulfonated Polyetherimide-Titanium Dioxide (TiO₂) New Blends Membrane Promising For Direct Methanol Fuel Cell (DMFC). *Proceedings Book*, 36.
- [9] Muliawati, E. C., & Mirzayanti, Y. W. (2021). Membran Polieugenol Tersulfonasi (PET) Sebagai Potensi Sel Bahan Bakar Metanol Langsung. *Journal of Research and Technology*, 7(2), 247-256.