

# Karakterisasi Proses Gasifikasi Menjadi Listrik Berbahan Baku Sampah Padat Perkotaan Menggunakan Reaktor Tipe *Downdraft* di Provinsi Nusa Tenggara Barat

## *Characterization of the Gasification into Electricity from Municipal Solid Waste Using a Downdraft Reactor in West Nusa Tenggara*

Shafwan Amrullah<sup>1\*</sup>, Sopyan Ali Rohman<sup>2</sup>, Cyrilla Oktaviananda<sup>3</sup>, Fadhli Dzil Ikram<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa

<sup>2</sup> Program Studi D3 Teknik Kimia, Politeknik Katolik Mangunwijaya

Email: <sup>1</sup>shafwan.amrullah@uts.ac.id, <sup>2</sup>sopyan.ali.r@uts.ac.id, <sup>3</sup>cyrilla@polteka.ac.id, <sup>4</sup>fadhli.dzil.i@utic.ac.id

\*Penulis korespondensi: shafwan.amrullah@uts.ac.id

Direview: 1 September 2022

Diterima: 3 Oktober 2022

### ABSTRAK

Indonesia saat ini mengalami masalah penumpukan sampah perkotaan, krisis energi dan lingkungan. Gasifikasi dengan generator listrik dapat mengatasi hal tersebut. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan karakterisasi reaktor gasifikasi yang telah dibuat dengan bahan bakar *Municipal Solid Waste* (MSW). Penelitian ini dilakukan dengan menguji pengaruh peningkatan suhu gasifikasi (550, 600, 650, 700, 750, 800, dan 850°C) dan variasi *Air Fuel Ratio* (AFR) (0,5; 0,51; 0,53; 0,54; dan 0,55). Pada variasi suhu dilakukan pengujian kadar *syngas*, *fuel conversion* (FC), *cold gas efficiency* (CGE), *carbon conversion efficiency* (CCE), dan *specific fuel consumption* (SCF). Sedangkan untuk variabel AFR dilakukan pengujian kadar *syngas* dan SCF. Hasil penelitian membuktikan bahwa rancangan memiliki hasil yang cukup baik berdasarkan kadar *syngas* pada peningkatan suhu gasifikasi, kecuali CO<sub>2</sub> mengalami penurunan. Selain itu terjadi peningkatan nilai FC dari 71% hingga 74% (550-850°C). Nilai CGE meningkat (77%-97%) dengan peningkatan suhu. Nilai CCE meningkat dari 69% hingga 78% dari suhu 550 hingga 650°C dan menurun kembali hingga 66% pada suhu 850°C. Nilai SCF dari 4,5 hingga 0,5 kg/kWh/jam. Hal ini menunjukkan dengan peningkatan suhu, maka proses gasifikasi dan pembakaran dalam semakin baik. Pada variasi AFR, kadar *syngas* meningkat dengan meningkatnya AFR. Sedangkan untuk nilai SCF terjadi penurunan dengan peningkatan angka AFR dari 5,3 hingga 2. Hal ini membuktikan pembakaran efisien.

**Kata kunci:** MSW, Gasifikasi, Karakterisasi, Suhu, AFR

### ABSTRACT

Indonesia is currently experiencing the problem of Municipal Solid Waste (MSW), energy and environmental crisis. Gasification by electric generator is the solution. This study about the design and characterization of the gasification reactor with MSW feed. This research was conducted by examining the effect of gasification temperature (550, 600, 650, 700, 750, 800, 850°C) and Air Fuel Ratio variations (0,5; 0,51; 0,53; 0,54; and 0,55). The variables of temperature variations is *syngas*, FC, CGE, CCE, and scf. The AFR evaluated *syngas* and SCF. The result showed an increase the *syngas* levels with the increasing the gasification temperature, except CO<sub>2</sub>. The FC value increased (71% to 74%) and The CGE increases (77 to 97%). The CCE increases from 69% to 78% (550-650°C) and decreases again to 66% (850°C), and Scf decreased (4.5-0.5 kg/kWh). In the AFR variation, *syngas* levels increase with increasing AFR, but scf decreased (5.3 to 2).

**Keywords:** MSW, gasification, characterization, temperature, AFR.

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini, sampah padat perkotaan semakin menggunung, terutama di daerah yang padat penduduk seperti perkotaan. Sampah jenis ini sangatlah berpotensi dalam hal pencemaran lingkungan yang memberikan sumbangsih terbesar terhadap gas rumah kaca (GRK). Saat ini sampah padat perkotaan Indonesia tercatat semakin bertambah. Indonesia menghasilkan sampah padat perkotaan sebesar 105.000 ton per hari, dan akan terus bertambah menjadi sekitar 150.000 ton/hari pada tahun 2025 (World Bank, 2019). Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) sendiri menghasilkan sampah sebesar 769,113 ton/hari (KLHK-NTB, 2019). Khususnya di Provinsi NTB, angka tersebut sangat mengkhawatirkan, hal ini disebabkan karena pengelolaan sampah di NTB sangat minim, bahkan dapat dikatakan tidak ada.

Sampah padat perkotaan atau di luar negeri dikenal dengan *municipal solid waste* (MSW) merupakan sampah padat yang terdiri dari berbagai jenis sampah, mulai dari jenis plastik PET, PVC, sampah organik dan lain sebagainya (Amrullah & Evila, 2019). Selain masalah sampah padat perkotaan, Provinsi NTB juga masih terkendala masalah energi dan lingkungan. Hal ini terlihat dengan semakin banyaknya kebutuhan energi listrik karena bertambahnya jumlah penduduk setiap tahunnya. Asia sendiri saat ini merupakan wilayah dengan akses listrik terendah di dunia (Chelminski, 2016). Padahal telah diketahui bahwa dengan tumbuhnya ekonomi di Indonesia telah menyebabkan terjadinya tingkat elektrifikasi nasional, yaitu pada tahun 1995 memperlihatkan angka sebesar 43% dan 84% pada tahun 2015. Akan tetapi, tingkat elektrifikasi di pulau-pulau timur Indonesia tetap saja lebih rendah dari 50% (ADB, 2016). Saat ini, kebutuhan energi listrik NTB sangat tergantung pada pasokan dari PLN dengan adanya Pembangkit Listrik Tenaga Uap batu bara (PLTU). Akan tetapi PLTU batubara notabene merupakan penghasil gas buang yang beracun seperti  $SO_2$ ,  $CO_x$ , dan  $NO_x$ , serta *Ash* yang dihasilkannya (Amrullah & Oktaviananda, 2020). Selain itu pasokan listrik NTB juga tersuplai dari PLTD yang tersebar diberbagai daerah. Kedua jenis Pembangkitan Listrik ini diketahui sangat besar sumbangsihnya terhadap pencemaran lingkungan khususnya di Provinsi NTB. Sehingga dengan kondisi tersebut, perlu adanya teknologi yang dapat mengatasi kedua masalah tersebut, salah satunya konversi energi seperti gasifikasi.

Proses gasifikasi sendiri merupakan proses termal yang bisa digunakan untuk mengkonversi bahan bakar karbon padat menjadi *syngas* ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ) dan juga produk padat berupa *char* serta produk cair berupa *tar*. Proses gasifikasi juga merupakan proses pembakaran terbatas yang proses pembakrannya hanya menggunakan oksigen yang terbatas, sekitar 20-40% (Sarker, 2015). Ada lima tipe sistem gasifikasi yang diketahui, yaitu antara lain *downdraft*, *updraft*, *inverted downdraft*, *cross draft*, dan juga *fluidized bed* gasifikasi (Anyaocha et al., 2020; Molino et al., n.d.; Reed & Das, 1988). Gasifikasi jenis *downdraft* sendiri memiliki keuntungan seperti sangat mudah dioperasikan serta menghasilkan produk *tar* paling kecil (Stantec, 2010; Young, 2010).

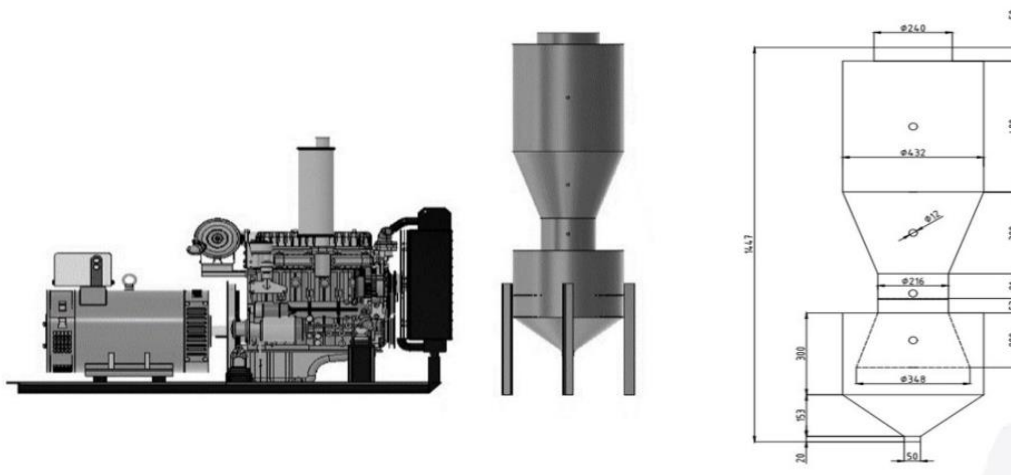
Pada penelitian ini dilakukan proses karakterisasi gasifikasi sampah padat perkotaan dengan reaktor bertipe *downdraft* yang disambungkan dengan generator listrik sehingga dapat dihasilkan listrik sekala rumah tangga. Karakterisasi yang dilakukan terdiri dari variabel uji berupa variasi suhu gasifikasi dan variasi rasio bahan bakar dan udara atau *air fuel ratio* (AFR) yang digunakan. Sedangkan indikator karakterisasi terdiri dari kandungan *syngas* ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ , dan  $CH_4$ ) yang dihasilkan untuk variabel suhu dan juga AFR. Selain itu juga pada variasi suhu dievaluasi *fuel conversion* (FC), *cold gas efficiency* (CGE), *carbon conversion efficiency* (CCE), dan konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SCF) oleh generator listrik. Sedangkan untuk variabel AFR juga dilakukan evaluasi SCF.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat pada riset ini terdiri dari tungku gasifikasi dengan tipe *downdraft*. Rangkain tungku gasifikasi dapat yaitu seperti yang tertera pada Gambar 1. Selain itu digunakan juga generator berbahan bakar premium dengan spesifikasi *Max Power* 1200 Watt, *Rated Power* 1000 Watt, *Rated Ampere* 4.5 A, *Voltage* 220 V, *Frequency* 50 Hz, DC Output 12/8.3 V/A, dan juga *Single Phase*. Selain itu juga digunakan alat pelengkap berupa blower dengan spesifikasi voltase 220V-230V, *frequency* 50 Hz, dan 150 Watt. Selain itu pada penelitian ini juga pipa venturi dibutuhkan dalam perhitungan kecepatan udara. Di lain pihak, *thermocouple* digunakan sebagai pengontrol suhu.

Dari **Gambar-1** dapat dilihat rancangan utuh dari reaktor gasifikasi tipe *downdraft* yang telah dirancang sendiri. Reaktor yang dibuat memiliki tinggi total sebesar 1447 mm. sedangkan diameter terbesar mencapai 432 mm. Reaktor dilengkapi dengan leher yang berfungsi sebagai ruang oksidasi atau pembakaran utama dari reaksi gasifikasi. Pada Gambar 1 dapat dilihat rangkaian utuh dari proses konversi MSW menggunakan reaktor gasifikasi menjadi listrik dengan kelengkapan generator yang telah dipasangkan.



**Gambar-1.** Rancangan Reaktor Gasifikasi dan Generator Listrik

Untuk alat uji produk *syngas* digunakan *chromatography* (GC) SHIMADZU GC 14 B Japan dengan kolom SUS *Packed Column* Propak Q, 5 m x 4 mm I.D. Sedangkan pada sampling *syngas* uji digunakan *spute* dan *siringe* yang dimasukkan ke dalam *vacutainer* berukuran 10 mL.

Bahan baku yang digunakan dalam riset ini yaitu sampah padat perkotaan di Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Kandungan *proximate* dan *ultimate* dari bahan baku telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan ITS Surabaya. Hasil uji *ultimate* dan *proximate* dapat dilihat pada **Tabel-1**.

**Tabel-1.** Hasil Uji *Proximate* dan *Ultimate* MSW

NO	Konten	Kadar
<b>Analisis Bomb Calorimeter</b>		
1	Jumlah Kalori (cal/g)	3600
<b>Analisis Ultimate</b>		
1	Nitrogen (% berat basis kering)	0,3
2	Karbon (% berat basis kering)	42
3	Hydrogen (% berat basis kering)	6,12
4	sulfur (% berat basis kering)	0,32
<b>Analisis Proximate</b>		
1	Moisture (% berat basis kering)	6,12
2	Volatile (% berat basis kering)	52,3
3	Fixed karbon (% berat basis kering)	14,23
4	Ash (% berat basis kering)	28,12

## 2.2. Cara Kerja

Percobaan ini terdiri dari variasi suhu gasifikasi yang digunakan, yaitu pada zona oksidasi 550, 600, 650, 700, 750, 800, dan 850°C. Variabel yang diamati terdiri dari kadar *syngas*, *fuel conversion* (FC), *cold gas efficiency* (CGE), *carbon conversion efficiency* (CCE), dan konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SCF).

Secara spesifik penelitian pada bagian ini terdiri dari proses pembakaran awal yang dilakukan menggunakan korek tembak melalui kran yang ada pada leher reaktor gasifikasi. Kemudian blower yang ada pada bagian input udara dinyalakan sehingga suhu perlahan meningkat mencapai suhu pengamatan. Untuk mengetahui *syngas* sudah terbentuk, dilakukan pembakaran pada bagian output *syngas* dari reaktor yang disambungkan dengan selang polimer. Jika *syngas* terbentuk, maka ditandai dengan *syngas* yang sudah dapat terbakar maka dilakukan pengambilan sampel *syngas* dengan menyedot *syngas* menggunakan *syringe* yang melewati selang polimer. Kemudian *syngas* dimasukkan ke dalam *vacutainer*. Setelah itu sampel gas diujikan

menggunakan alat GC sehingga diketahui kadar gas CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub> yang terbentuk tiap-tiap variabel suhu yang diinginkan.

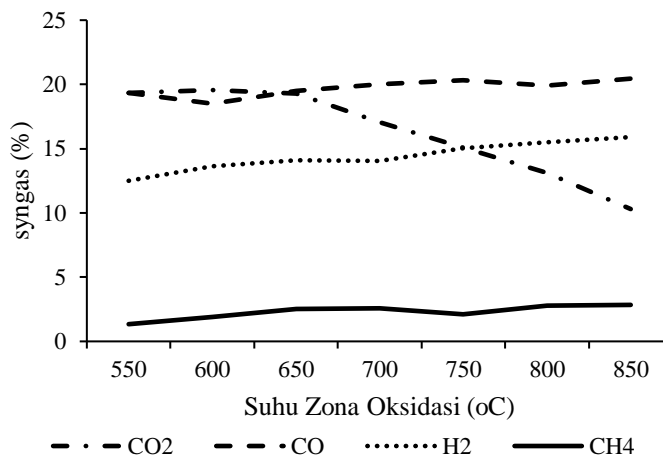
Di lain pihak, untuk mengetahui scf butuh daya yang pada setiap variabel suhu (dalam watt) serta jumlah kebutuhan bahan bakar yaitu campuran *syngas* dan premium yang diinjeksikan secara bersamaan selama 1 jam. Asumsi pada tahap ini adalah perhitungan konsumsi bahan bakar cair saja, dan kadar *syngas* yang dikonsumsi dapat terlihat dari penurunan konsumsi bahan bakar cair. Kadar *syngas* yang dikonsumsi dibahas sebagai pengaruh perubahan nilai scf yang dihasilkan.

Variabel uji selanjutnya terdiri dari variabel *air fuel ratio* (AFR). Pada variasi ini digunakan nilai AFR 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; dan 0,55.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

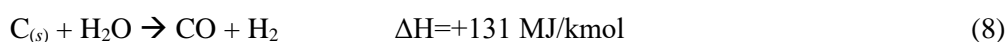
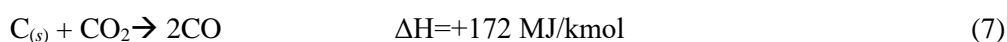
#### 3.1. Hasil Karakterisasi Proses Gasifikasi: Variasi Suhu terhadap hasil gasifikasi

Pada variasi suhu yang digunakan (suhu pada zona oksidasi 550, 600, 650, 700, 750, 800, dan 850°C) telah diketahui. Hasil penelitian ini didapatkan hasil konversi MSW menjadi fase *syngas* sebagai produk utama yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar-2. Pengaruh Suhu Terhadap *Syngas*

Gambar-2 memperlihatkan terjadinya peningkatan kadar CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>, kecuali CO<sub>2</sub> dengan bertambahnya suhu gasifikasi. Pada Gambar 2 memperlihatkan peningkatan kadar *syngas* dari 19,32 % hingga 20,45% pada suhu 550-850°C. Selain itu H<sub>2</sub> juga meningkat dari 12,5% hingga 15,9% pada peningkatan suhu tersebut. Sedangkan CH<sub>4</sub> juga terjadi peningkatan dari 1,34% hingga 2,84% pada peningkatan suhu yang sama. Hal ini kemungkinan terjadi karena suhu dapat mengindikasikan bahwa terjadi konsumsi karbon yang lebih besar berdasarkan hukum termodinamika yang berlaku. Dimana peningkatan suhu menyebabkan terjadinya penambahan kalor. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi gasifikasi pada Persamaan 7-10. Dimana CO terbentuk dari persamaan endotermis yang merupakan proses penambahan dari suhu gasifikasi yaitu Persamaan 7 (reaksi water-gas) dan Persamaan 8 (reaksi Boudouard). Begitu juga dengan H<sub>2</sub> pada Persamaan 8 yang merupakan reaksi endotermis. Selain itu CH<sub>4</sub> juga terbentuk dari Persamaan 10 (reaksi metanasi), yaitu terbentuknya CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> terjadi kadena adanya peningkatan konsumsi terhadap C. Begitu pula dengan peningkatan suhu yang mengakibatkan H<sub>2</sub> bertambah sehingga produl CH<sub>4</sub> juga ikut bertambah. Sedangkan CO<sub>2</sub> pada hasil ini mengalami penurunan yang kemungkinan diakibatkan karena konsumsi C pada reaksi water-gas (Persamaan 7-10) makin meningkat dengan bertambahnya suhu gasifikasi.

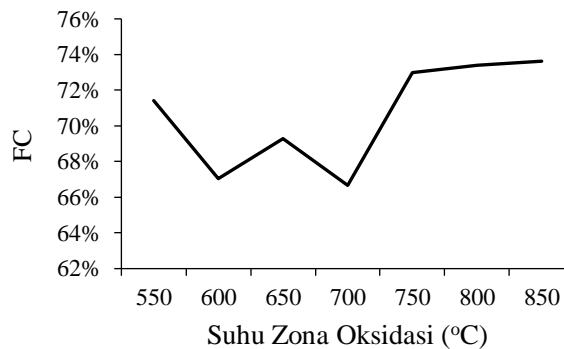




Hasil pada Gambar 2 sejalan dengan hasil yang didapatkan penelitian-penelitian sebelumnya, dimana peningkatan komposisi *syngas* terjadi dengan meningkatnya suhu gasifikasi dari 400-1.000°C (Muvhiiwa et al., 2018) (Immaduddin et al., 2021). Selanjutnya nilai FC dapat dilihat pada Gambar 3. Perhitungan FC dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$FC = \frac{\text{Syngas yang dihasilkan}}{\text{Konsumsi bahan bakar}} \times 100 \quad (11)$$

**Gambar-3** menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai FC. Hal ini memperlihatkan bahwa terjadi produksi gas yang semakin bertambah dengan bertambahnya jumlah suhu gasifikasi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena terjadi jumlah konsumsi karbon (C) pada reaksi pembakaran (water-gas) (Persamaan-7-10), hal ini terlihat dari semakin besarnya kadar *syngas* yang terbentuk. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya, dimana terjadi perubahan karbon menjadi produk yang semakin besar dengan bertambahnya suhu pembakaran gasifikasi pada tipe *downdraft* (Long et al., 2020). Dari hasil penelitian terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai FC dari 71% hingga 74%. Akan tetapi hasil ini terlihat sedikit berfluktuasi dimana terjadi penurunan dari 71% menjadi 67%, 69%, dan 67% pada suhu 600, 650, dan 700°C. Hal ini kemungkinan disebabkan karena terjadi peningkatan penggunaan bahan baku, sehingga ketika dilakukan perhitungan dalam bentuk persentase cenderung terlihat FC sama bahkan menurun.



**Gambar-3.** Pengaruh Suhu Gasifikasi Terhadap Nilai *Fuel Conversion* (FC)

Pada Gambar 4 terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai CGE dengan peningkatan suhu gasifikasi. Peningkatan terjadi dari 77%, 83%, 93%, 93%, 97%, 96%, dan 97%. Dari hasil ini terlihat bahwa peningkatan terjadi kemungkinan karena peningkatan nilai  $LHV_{\text{syngas}}$  berdasarkan pada Persamaan 2. Peningkatan  $LHV_{\text{syngas}}$  sendiri berkaitan dengan peningkatan komposisi CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> dengan meningkatnya suhu gasifikasi seperti yang disajikan pada Persamaan 3 dan pada Gambar 2, yang membuktikan volume *syngas* semakin besar dengan bertambahnya suhu (Amrullah et al., 2017).

$$CGE = \frac{LHV_{\text{gas}} \times V_{\text{gas}}}{LHV_{\text{feedstock}} \times m} \quad (12)$$

Dimana  $LHV_{\text{gas}}$  adalah nilai *Lower Heating Value syngas* (Mj/Nm<sup>3</sup>) yang dihasilkan. Sedangkan  $V_{\text{gas}}$  merupakan debit *syngas* (m<sup>3</sup>/jam) yang dihasilkan.  $LHV_{\text{feedstock}}$  merupakan nilai LHV bahan baku (yaitu MSW). Sedangkan m merupakan massa dari konsumsi MSW (kg/jam) (Sarker et al., 2015).

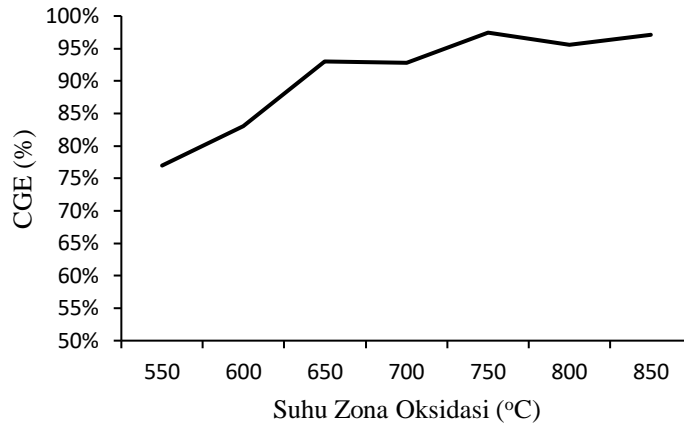
$$CCE = \frac{Y \times 100 \times (CO\% + CH_4\% + CO_2\%) \times 12}{m \times (1 - X_{\text{ash}}) \times 22,4 \times C\%} \quad (13)$$

Y adalah debit *syngas* (Nm<sup>3</sup>/Jam),  $X_{\text{ash}}$  adalah *ash content* dari hasil pembakaran, C% adalah persentase MSW. 100 merupakan total persentase terbaik, sedangkan 22,4 merupakan angka untuk mendefinisikan volume gas ideal (22,4 L/mol).

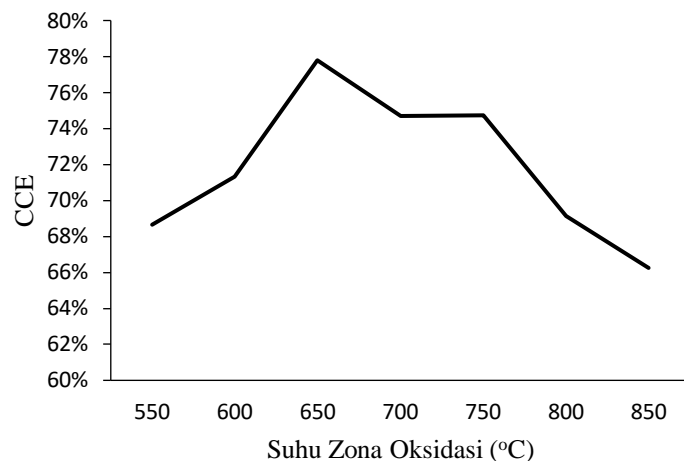
$LHV_{\text{syngas}}$  dapat dihitung dengan Persamaan 4 (Kartal & Ozveren, 2020).

$$LHV_{gas} = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot LHV_i) \quad (14)$$

$LHV_{syngas}$  adalah *Lower heating value* (LHV) *syngas* ( $Mj/Nm^3$ ).  $Y_i$  adalah fraksi volume (konsentrasi) dari unsur *syngas* (%). Sedangkan  $LHV_i$  adalah *Lower heating value* (LHV) dari unsur *syngas* ( $Mj/Nm^3$ ).



**Gambar-4.** Pengaruh Suhu Gasifikasi Terhadap Nilai *Cold Gas Efficiency* (CGE)



**Gambar-5.** Pengaruh Suhu Gasifikasi Terhadap Nilai *Carbon Conversion Efficiency* (CCE)

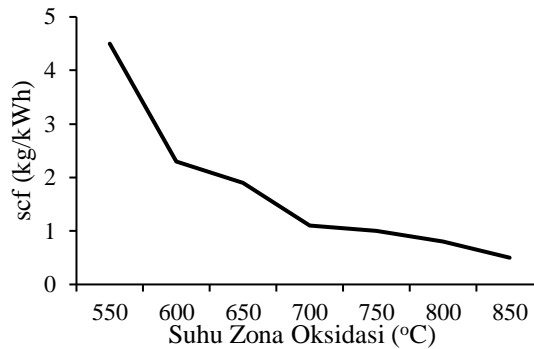
**Gambar-4** memperlihatkan peningkatan nilai CCE dari 69%, 71%, 78% dari suhu 550, 600, dan 650°C. Akan tetapi terjadi penurunan kembali dari 78% menjadi 75%, 75%, 69%, hingga 66% pada suhu 700°C hingga 850°C, hal ini terjadi kemungkinan karena pada peningkatan suhu tersebut, terjadi peningkatan %C dengan berkurangnya yield *syngas* yang didapatkan. Dari hasil ini terlihat bahwa pada keadaan idealnya, akan terjadi peningkatan nilai CCE dengan peningkatan suhu gasifikasi, hal ini didasarkan pada Persamaan 3, yaitu peningkatan debit *syngas* serta komposisi *syngas* terjadi dengan meningkatnya suhu gasifikasi. Hasil ini sama dengan penelitian sebelumnya, dimana peningkatan nilai CCE terjadi dengan peningkatan suhu gasifikasi pada 450 hingga 600°C, dari 53,36% menjadi 89,22% (Ge et al., 2016).

Untuk nilai SCF dapat dilihat pada Gambar 6. Cara menghitung nilai scf dapat dilihat pada Persamaan 5 (Heywood, 1988).

$$scf = \frac{Gf}{Ne} \quad (15)$$

$Gf$  pada pada persamaan ini merupakan jumlah konsumsi bahan bakar (dalam kg/jam). Selain itu,  $Ne$  yaitu daya efektif yang dibangkitkan (watt).

**Gambar-6** memperlihatkan penurunan nilai scf pada peningkatan suhu gasifikasi MSW. Adanya hasil tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi suhu gasifikasi MSW maka efisiensi pembakaran semakin bagus. Hasil penelitian ini juga menghasilkan nilai scf yang menurun, yaitu 4,5; 2,3; 1,9; 1,1; 1; 0,8, dan 0,5 kg/kWh dari penurunan suhu 550 hingga 850°C. Hal ini kemungkinan terjadi karena semakin besar komposisi *syngas* yang dikonsumsi oleh generator, sehingga jumlah konsumsi bahan bakar premium yang dibutuhkan oleh generator semakin kecil. Selain itu berdasarkan Persamaan 5, terjadinya penurunan nilai scf ini terjadi karena pembakaran syngas oleh generator menyebabkan daya (Ne) yang dihasilkan semakin besar (Hernandez et al., 2016; Rizkal & Sudarmanta, 2016).



**Gambar-6.** Pengaruh Suhu Gasifikasi terhadap nilai scf

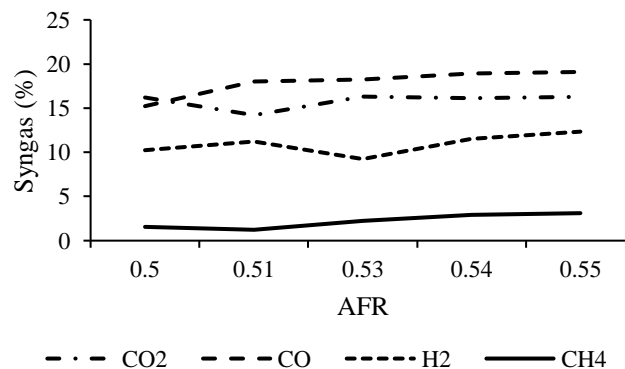
### 3.2. Hasil Karakterisasi Proses Gasifikasi: Variasi Air Fuel Ratio (AFR) (Pengaruh Perbandingan Udara Bahan Bakar terhadap Hasil Gasifikasi)

Pada variasi AFR, komposisi *syngas* yang dihasilkan terhadap variasi AFR dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai AFR diketahui melalui perhitungan MSW yang digunakan (kg) dan udara yang digunakan.

$$AFR = \frac{V_{udara} \times \rho_{udara}}{m_{MSW}} \quad (16)$$

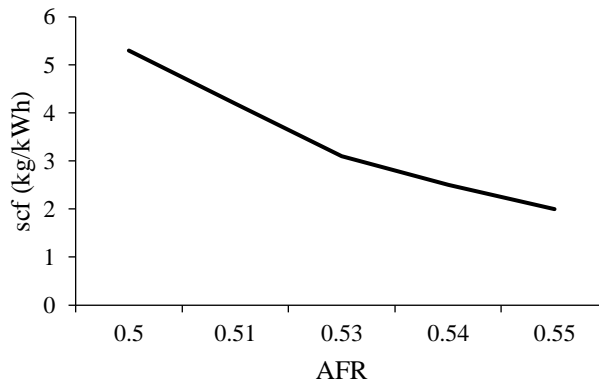
$V_{udara}$  yaitu jumlah udara pada variasi AFR ( $m^3$ ).  $\rho_{udara}$  merupakan massa jenis udara ( $Kg/m^3$ ). Sedangkan  $m_{MSW}$  adalah massa bahan bakar yang digunakan. Massa MSW yang digunakan tetap yaitu 2,5 kg/jam.

**Gambar-7** menggambarkan hasil penelitian dimana peningkatan kadar *syngas* terjadi namun tidak terlalu signifikan pada peningkatan nilai AFR yang digunakan. Kemungkinan penyebab yang ada adalah adanya peningkatan kadar oksigen sehingga pembakaran semakin sempurna, sehingga konversi bahan bakar menjadi *syngas* terus terjadi. Pada tahap ini  $CO_2$  pun ikut meningkat, hal ini kemungkinan disebabkan karena terjadinya pembakaran yang semakin baik, kadar  $O_2$  yang digunakan semakin besar hingga mendekati pembakaran sempurna. Di lain pihak, penambahan kadar *syngas* seperti CO disebabkan karena peningkatan kadar  $CO_2$  yang dihasilkan, hal ini berdasarkan pada Persamaan water-gas (Persamaan 7). Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Galvez-Perez et al., 2021; Wiyono et al., 2020).



**Gambar-7.** Pengaruh AFR terhadap *Syngas*

Untuk pengaruh nilai AFR terhadap nilai scf dapat dilihat pada Gambar 8. Dari Gambar 8 memperlihatkan terjadi penurunan nilai SCF dengan semakin besarnya rasio antara udara dan MSW. Penurunan terjadi dari 5,3; 4,2; 3,1; 2,5; dan 2. Hal ini menandakan bahwa semakin besar AFR maka pembakaran semakin efisien (Habibollahzade & Rosen, 2021) (Evila & Amrullah, 2019). Dalam kasus ini, trend tersebut terjadi karena semakin besar *mass flow rate* dari *syngas* sehingga waktu yang diperlukan untuk mengkonsumsi minyak premium semakin lama. Hal ini berarti konsumsi dari minyak juga berkurang, mengakibatkan nilai SCF terus menurun dengan bertambahnya AFR (Siriwardane et al., 2021).



Gambar 8. Pengaruh AFR Gasifikasi Terhadap Nilai SCF

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi dari proses gasifikasi tipe *downdraft* pada rancangan ini memiliki hasil yang cukup baik. Hal ini berdasarkan hasil dimana terjadi peningkatan kadar *syngas* pada peningkatan variasi suhu gasifikasi yang digunakan, kecuali CO<sub>2</sub>. Selain itu terjadi peningkatan nilai FC dari 71% hingga 74% pada peningkatan suhu dari 550 hingga 850°C. Untuk nilai CGE terjadi peningkatan nilai dengan peningkatan suhu gasifikasi. Peningkatan terjadi dari 77% hingga 97%. Untuk nilai CCE, terlihat adanya peningkatan nilai dari 69% hingga 78% dari suhu 550 hingga 650°C. Akan tetapi terjadi penurunan kembali dari 78% menjadi 66% pada suhu 700°C hingga 850°C. Pada bagian terakhir terjadi penurunan nilai scf dari 4,5 hingga 0,5 kg/kWh. Hal ini menunjukkan dengan peningkatan suhu, maka proses gasifikasi dan pembakaran dalam semakin baik. Pada variasi AFR terlihat kenaikan kadar *syngas* dengan meningkatnya AFR. Sedangkan untuk nilai scf terjadi penurunan seiring dengan peningkatan angka AFR. Penurunan terjadi dari 5,3; 4,2; 3,1; 2,5; dan 2. Hal ini berarti semakin besar AFR maka semakin efisien pembakaran.

#### SARAN

Perlu adanya penelitian lanjutan sehingga didapatkan hasil penelitian lebih banyak tentang efisiensi di luar variabel suhu dan AFR.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Universitas Teknologi Sumbawa yang telah memberikan dana hibah internal sehingga artikel ini dapat terselesaikan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ADB. (2016). *Achieving Universal Electricity Access in Indonesia*, Asian Development Bank (ADB), Manila, Philippines, 2016.
- Amrullah, S., & Evila, T. (2019). Pengaruh Perbedaan Bantuk Bahan Baku Dan Suhu Gasifikasi Ampas Tebu Terhadap Produksi Hidrogen. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 1, 41–50. <https://doi.org/10.35970/jppl.v1i1.49>.
- Amrullah, S., & Oktaviananda, C. (2020). Simulation of Dispersion Potential and Fatality Percentage of SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> Flue Gas from Combustion of Coal in West Lombok Power Plant using Gaussian Model.



*Jurnal Teknik Kimia*, 7, 117–126.

- Amrullah, S., Perdana, I., & Budiman, A. (2017). *Study on Performance and Environmental Impact of Sugarcane-Bagasse Gasification*. 121–127.
- Anyaoha, K. E., Sakrabani, R., Patchigolla, K., & Mouazen, A. M. (2020). Co-Gasification of Oil Palm Biomass in a Pilot Scale Downdraft Gasifier. *Energy Reports*, 6, 1888–1896.
- Chelminski, K. (2016). The Political Economy of Energy Access and Sustainable Energy Transitions in Indonesia. *L'Europe En Formation*, 146–165.
- Evila, T., & Amrullah, S. (2019). Kinetika Desorpsi Urea Dari Karbon Berpori Teroksidasi Asam Sulfat Sebagai Slow Release Fertilizer. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 1(01), 28–33. <https://doi.org/10.35970/jppl.v1i01.44>
- Galvez-Perez, A., Martin-Lara, M. ., Calero, M., Perez, A., Canu, P., & Blazquez, G. (2021). Experimental Investigation on The Air Gasification of Olive Cake at Low Temperatures. *Fuel Processing Technology*, 213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106703>
- Ge, H., Guo, H., Shen, L., Song, T., & Xiao, J. (2016). Biomass Gasification Using Chemical Looping in A 25 kWth Reactor with Natural Hematite As Oxygen Carrier. *Chemical Engineering Journal*, 286, 174–183.
- Habibollahzade, A., & Rosen, M. A. (2021). Syngas-Fueled Solid Oxide Fuel Cell Functionality Improvement Through Appropriate Feedstock Selection and Multi-Criteria Optimization Using Air/O<sub>2</sub>-Enriched-Air Gasification Agents. *Applied Energy*, 286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116497>
- Hernandez, J. J., Lapuerta, M., & Monedero, E. (2016). Characterisation of Residual Char from Biomass Gasification : Effect of The Gasifier Operating Conditions. *Journal of Cleaner Production*, 138, 83–93.
- Heywood, J. . (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental*. Mc Graw-Hill Education.
- Immaduddin, H. F., Amrullah, S., Nurkholis, & Rahayu, T. E. P. S. (2021). *Pengolahan Limbah Tempurung Kemiri Sebagai Adsorben Senyawa Etilen Dengan Penambahan Kalium Permanganat ( KMnO<sub>4</sub> ) Treatment of Candlenut Shell Waste as Adsorbent With the Addition of Potassium*. 3(01), 13–19.
- Kartal, F., & Ozveren, U. (2020). A Deep Learning Approach for Prediction of Syngas Lower Heating Value from CFB Gasifier in Aspen Plus. *Energy*, 209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118457>
- KLHK-NTB. (2019). *KLHK Ajak Warga NTB Pilah Sampah dari Rumah*.
- Long, X., Spiegl, N., Berruoco, C., Peterson, N., & Millan, M. (2020). Fluidised Bed Oxy-Fuel Gasification of Coal: Interactions Between Volatiles and Char at Varying Pressures and Fuel Feed Rates. *Chemical Engineering Science*, X. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cesx.2020.100068>
- Molino, A., Chianese, S., & Musmarra, D. (n.d.). Biomass Gasification Technology: The State of The Art Overview. *JEC*, 25 (1), 10–25.
- Muvhiiwa, R. F., Sampuga, B., Hildebrandt, D., & Walt, J. V. . (2018). Study of The Effects of Temperature on Syngas Composition from Pyrolysis of Wood Pellets Using a Nitrogen Plasma Torch Reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 130, 159–168.
- Reed, T. B., & Das, A. (1988). *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. Golden.
- Rizkal, A., & Sudarmanta, B. (2016). Karakterisasi Unjuk Kerja Diesel Engine Generator Set Sistem Dual Fuel Solar-Syngas Hasil Gasifikasi Briket Municipal Solid Waste (MSW) Secara Langsung. *JURNAL TEKNIK ITS5*, 5 (2), 563–568.
- Sarker, S. (2015). Semi-Continuous Feeding and Gasification of Alfalfa and Wheat Straw Pelets in A Lab-Scale Fluidized Bed Reactor. *Energy Conversion and Management*, 99, 50–61.
- Sarker, S., Arauzo, J., & Nielsen, H. K. (2015). Semi-Continuous Feeding and Gasification of Alfalfa and Wheat Straw Pelets in A Lab-Scale Fluidized Bed Reactor. *Energy Conversion and Management*, 99, 50–61.
- Siriwardane, R., Rley, J., Benincosa, W., Bayham, S., Bobek, M., Starub, D., & Weber, J. (2021). Development of CuFeMnAlO<sub>4+δ</sub> Oxygen Carrier with High Attrition Resistance and 50-kWth Methane/Air Chemical Looping Combustion Tests. *Applied Energy*, 286. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116507>
- Stantec. (2010). *Waste to Energy. A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices. Final Report for Environmental Quality Branch Environmental Protection Division*.
- Wiyono, A., Gandidi, I. M., Berman, E. T., Mutaufiq, & Pambudi, N. . (2020). Design, Development and Testing of Integrated Downdraft Gasifier and Multi IGCS System of MSW for Remote Areas. *Case*



Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)  
Vol.4 No.2 September 2022  
e-ISSN : **2686-6137** ; p-ISSN : **2686-6145**

*Studies in Thermal Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100612>

World Bank. (2019). *Membersihkan Limbah Padat Perkotaan Indonesia*.

Young, G. (2010). *Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes: Economic, Technical and Renewable Comparisons*. J. Wiley & Sons, Inc.