

Pengaruh Air Fuel Ratio Gasifikasi Sampah Padat Perkotaan Menggunakan Gasifikasi Tipe Downdraft Terhadap Kualitas Gasifikasi

Shafwan Amrullah¹, Cyrilla Oktaviananda²
Email corresponding author: shafwan.amrullah@uts.ac.id

¹Jurusan Teknologi Industri Pertanian Universitas Teknologi Sumbawa,
²Prodi D3 Teknik Kimia Politeknik Katolik Mangunwijaya

Article history: Received: 11 April 2022 | Revised: 2 Juni 2022 | Accepted: 4 Juni 2022

Abstract. Gasification using municipal solid waste (MSW) has the effect of improving environmental quality and increasing electricity supply for areas that are difficult to reach, especially in Indonesia. However, the gasification process requires a quality testing process first in order to produce maximum syngas and electricity products. So in this research, the process of testing the effect of variations in Air Fuel Ratio (AFR) on the quality of the gasification process (Cold Gas Efficiency, Carbon Conversion Efficiency, and specific fuel consumption or consumption conversion specific). The research was conducted by carrying out a gasification process with a downdraft type at an AFR value of 0.5; 0.51; 0.53; 0.54; 0.55. The results of this study showed an increase in the value of syngas with the increase in the value of AFR. Meanwhile, the CGE value increased with the increase in AFR of the MSW gasification process. The increase occurred from 9 to 13%, although this result is still very low. On the other hand, CCE also experienced an increase with the increase in the AFR of MSW gasification. The increase in the value seen is from 33-43%. This result is also still relatively small, meaning that the efficiency of carbon conversion in this process is very low. At the end, it can be seen that the scf value decreases with increasing AFR. The decrease obtained is from 5.3 to 2.

Keywords - Gasification, Air Fuel Ratio (AFR), Syngas, Efficiency, Consumption Conversion Specific

Abstrak. Gasifikasi menggunakan limbah padat kota atau Municipal Solid Waste (MSW) berdampak pada peningkatan kualitas lingkungan dan peningkatan pasokan listrik untuk daerah-daerah yang sulit dijangkau, khususnya di Indonesia. Namun proses gasifikasi membutuhkan proses pengujian kualitas terlebih dahulu agar dapat menghasilkan produk syngas dan kelistrikan yang maksimal. Maka dalam penelitian ini dilakukan proses pengujian pengaruh variasi Air Fuel Ratio (AFR) terhadap kualitas proses gasifikasi (Cold Gas Efficiency (CGE), Carbon Conversion Efficiency (CCE), dan specific fuel consumption (sfc) atau konversi konsumsi spesifik). Penelitian dilakukan dengan melakukan proses gasifikasi dengan tipe downdraft pada nilai AFR 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan nilai syngas seiring dengan peningkatan nilai AFR. Sedangkan nilai CGE meningkat seiring dengan meningkatnya AFR proses gasifikasi MSW. Peningkatan terjadi dari 9 menjadi 13%, meskipun hasil ini masih sangat rendah. Di sisi lain, CCE juga mengalami peningkatan dengan meningkatnya AFR gasifikasi MSW. Peningkatan nilai terlihat dari 33-43%. Hasil ini juga masih tergolong kecil, artinya efisiensi konversi karbon pada proses ini sangat rendah. Pada akhirnya, dapat dilihat bahwa nilai scf menurun dengan meningkatnya AFR. Penurunan yang didapat adalah dari 5,3 menjadi 2.

Kata Kunci - Gasifikasi, Air Fuel Ratio (AFR), Syngas, Efisiensi, Consumption Conversion Specific

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu Negara dengan tingkat elektrifikasi yang rendah. Telah diketahui bahwa angka elektrifikasi di Asia Tenggara bahkan hanya mencapai 10% dari total kebutuhan [1]. Hal ini disebabkan karena Indonesia terdiri dari kepulauan yang membutuhkan tingkat konektivitas yang besar, terutama untuk daerah yang memiliki akses yang sulit. Saat ini, permasalahan kebutuhan listrik selalu disubstitusi dengan menggunakan pembangkitan listrik bertenaga disel dan batu bara, yang menyebabkan terjadi peningkatan elektrifikasi nasional dari angka 43% hingga 84% dari tahun 1995 hingga 2015. Akan tetapi terjadi permasalahan yang masih cukup rumit, yaitu ketidak merataan elektrifikasi terutama di pulau-pulau timur Indonesia, dimana terlihat angka elektrifikasi masih tetap pada angka 50%. Selain itu, dengan penggunaan bahan bakar fosil dalam hal pembangkitan menyebabkan terjadinya emisi karbon yang sangat parah [2], [3]. Kebutuhan ini menyebabkan energi alternatif sangatlah dibutuhkan untuk menjawab semua permasalahan tersebut [4].

Ada beberapa energi alternatif yang saat ini telah diperkenalkan di beberapa negara, seperti energi mikrohidro dan juga energi surya. Hal ini disambut juga oleh peraturan pemerintah No. 5 tahun 2006 tentang penggunaan energi mikrohidro dan juga energi surya sebagai alternatif untuk mensuplai energi pedesaan dan area yang susah dijangkau. Akan tetapi, kedua jenis pembangkit listrik tersebut memiliki permasalahan mendasar, seperti

tidak tersedianya air yang cukup untuk membangkitkan listrik menggunakan teknologi mikrohidro [5]. Selain itu juga, telah diketahui bahwa energi yang dibangkitkan dengan panel surya konvensional memiliki tantangan yang cukup mendasar, dimana panel surya memiliki harga yang cukup tinggi, terutama nilai dari proses perbaikan yang sangat besar [6]. Adanya kesulitan dalam hal penerapan energi terbarukan seperti panel surya dan mikrohidro membutuhkan alternatif lain sebagai penggantinya dalam hal pemenuhan energi listrik pedesaan. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah energi alternatif berbahan baku sampah padat perkotaan. Sehingga dengan adanya terobosan ini dapat mengatasi masalah sampah sekaligus. Akan tetapi perlu dilakukan konversi bahan baku padat sebagai sumber karbon sehingga menjadi bahan bakar yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkitan listrik skala kecil menggunakan generator medium. Salah satu yang dapat digunakan adalah teknologi gasifikasi.

Gasifikasi merupakan sebuah proses yang dapat digunakan untuk mengkonversi bahan padat berkarbon seperti sampah padat perkotaan (campuran antara sampah organik dan sampah anorganik) menjadi bahan bakar berbentuk gas, yang secara umum dikenal dengan nama gas sintetik (*syngas*). Gas sintetik ini merupakan gas yang mudah terbakar dan terdiri dari kumpulan gas seperti CO, H₂, CO₂, dan CH₄ [7]. Gas sintetik ini dapat dimanfaatkan secara langsung untuk membangkitkan listrik menggunakan pembakaran internal yang biasa digunakan seperti generator gas. Dari hasil pembakaran ini langsung dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dalam skala rumah tangga.

Proses gasifikasi memiliki beberapa hal penting dalam pengaplikasiannya, yang dapat menentukan keberhasilan dari proses produksi gas sintetik, antara lain jenis dari bahan baku, jumlah oksigen, jenis reaktor, dan *Air Fuel Ratio (AFR)* [8],[9]. Sedangkan untuk mengetahui kualitas dari proses gasifikasi dapat dilihat dengan membandingkan nilai energi yang dihasilkan, baik itu yang dikenal dengan *Lower Heating Value (LHV)* ataupun *High Heating Value (HHV)*. Seperti misalkan hasil penelitian sebelumnya memperlihatkan proses gasifikasi dengan bahan baku kayu menghasilkan nilai LHV sebesar 4.800 kJ/m³ pada nilai AFR 0,96 [10]. Sedangkan pada penelitian yang lain memperlihatkan nilai LHV 3.289 kJ/m³ pada nilai AFR 1.25 dengan bahan baku sekam padi [11]. Untuk mengetahui keberhasilan dari proses gasifikasi juga dapat dilihat dengan menghitung kadar *syngas* yang dihasilkan, nilai *Cold Gas Efficiency (CGE)*, *Carbon Conversion Efficiency (CCE)*. Selain itu diketahui bahwa jumlah energi listrik yang dihasilkan dari proses gasifikasi dapat menjadi ukuran keberhasilan proses gasifikasi. Indikator terakhir ini dapat dihitung dengan melihat konsumsi bahan bakar spesifik atau *consumption conversion specific (scf)*.

Pada penelitian ini dilakukan proses konversi energi menggunakan gasifikasi yang dibuat dengan sistem *downdraft*. Tipe *downdraft* merupakan tipe gasifikasi yang paling banyak digunakan, dimana tipe ini diklasifikasikan berdasarkan arah aliran bahan baku dan produk hasil. Gasifikasi tipe *downdraft* memiliki aliran bahan baku dari arah atas sedangkan gas yang terbentuk mengalir dari bawah [12]. Pada akhir penelitian ini dilakukan proses perhitungan pengaruh variasi AFR terhadap kualitas dari gasifikasi dengan melihat kadar *Syngas*, nilai CGE, CCE, dan nilai scf yang dihasilkan dari proses pembakaran *syngas* yang terkonversi dari MSW menggunakan generator listrik skala medium.

METODE

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa reaktor gasifikasi bertipe *downdraft*. Untuk mengetahui bentuk dari reaktor dapat dilihat pada Gambar 1. Selain reaktor utama, ada beberapa alat yang digunakan sebagai alat penunjang, diantaranya adalah generator dengan bahan bakar premium tipe *Max Power 1200 Watt* sebagai pembangkit listrik berbahan baku *syngas*. Selain itu digunakan *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 alat kecil juga digunakan seperti *blower* dengan kapasitas 220V-230V dengan *frequency 50 Hz* untuk 150 Watt. Pipa venture juga digunakan sebagai parameter perhitungan kecepatan udara yang dipasangkan di pipa aliran masuk udara. Di bagian akhir, dipasangkan termokopel sebagai pengontrol suhu gasifikasi.

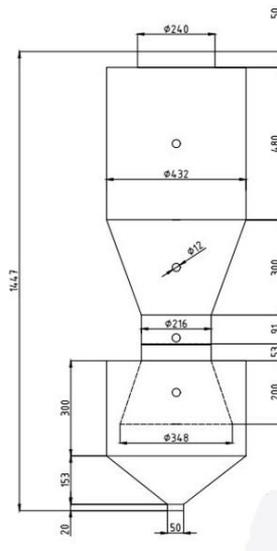
Alat uji pada penelitian ini menggunakan *chromatography (GC) SHIMADZU GC 14 B* Japan dengan kolom *SUS Packed Column Propak Q*, 5 m x 4 mm I.D. Sebagai alat untuk mengambil sampel gas digunakan *syringe* dan *spute* dengan disimpan di dalam sebuah *vacutainer* 10 mL.

Sedangkan bahan dari penelitian ini menggunakan sampah padat perkotaan (MSW) yang diambil langsung dari kota Sumbawa besar dengan spesifikasi yang diperlihatkan pada Tabel 1. Dari Tabel satu dapat dilihat kandungan bahan baku seperti jumlah kalori, hasil analisis *ultimate* dan *proximate*. Bahan baku sampah sendiri dibuat dalam bentuk padatan *pellet* yang telah dicacah sebelumnya.

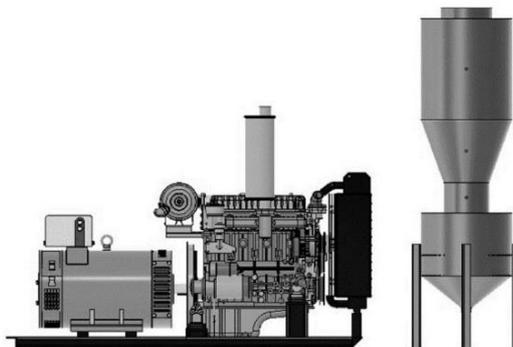
Tabel 1. Karakteristik Sampah Padat Kota Sumbawa

No	Konten	Kadar
Analisis Bomb Calorimeter		
1	Jumlah Kalori (cal/g)	3600
Analisis Ultimate		
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
Analisis Proximate		
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

Rangkaian alat pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1. Sedangkan rangkaian lengkap alat yang digabungkan dengan generator listrik diperlihatkan oleh Gambar 2.



Gambar 1. Rancangan Reaktor Gasifikasi



Gambar 2. Rangkaian Reaktor Gasifikasi dan Generator Listrik

Pada penelitian ini dilakukan proses perhitungan pengaruh AFR terhadap kualitas dari produk hasil proses gasifikasi. Variasi AFR yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Sedangkan variabel yang diamati berupa kualitas gasifikasi berupa kadar *syngas*, *cold gas efficiency* (CGE), *carbon conversion efficiency* (CCE), dan konsumsi bahan bakar spesifik atau *consumption conversion specific* (scf).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung CGE dapat dilihat pada Persamaan 1 [13]. Sedangkan persamaan untuk menghitung CCE dapat dilihat pada Persamaan 2 [13].

$$CGE = \frac{LHV_{gas} \times V_{gas}}{LHV_{feedstock} \times m} \quad (1)$$

$$CCE = \frac{Y \times 100 \times (CO\% + CH_4\% + CO_2\%) \times 12}{m \times (1 - X_{ash}) \times 22,4 \times C\%} \quad (2)$$

Persamaan 1 dan 2 dapat digunakan untuk mengetahui nilai CGE dan CCE, di mana LHV_{gas} merupakan nilai dari Lower Heating Value dari *syngas* (Mj/Nm^3). V_{gas} sendiri merupakan debit *syngas* (m^3/jam). $LHV_{feedstock}$ merupakan nilai LHV bahan baku. Sedangkan m merupakan massa yang dikonsumsi pada proses (kg/jam). Y merupakan debit *syngas* (Nm^3/jam), X_{ash} merupakan *ash content* dari pembakaran, $C\%$ merupakan persentase dari MSW.

Untuk melengkapi persamaan di atas LHV_{syngas} dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 [14].

$$LHV_{gas} = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot LHV_i) \quad (3)$$

Pada Persamaan 3, Y_i merupakan fraksi volume atau konsentrasi dari *syngas* sendiri (dalam %). Sedangkan LHV_i sendiri merupakan nilai dari LHV setiap unsur pada *syngas* (dalam Mj/Nm^3).

Selain CGE, CCE dan *Syngas* juga dilakukan proses perhitungan nilai scf, di mana scf dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4. Pada perhitungan ini dilakukan dengan mengambil data berupa daya yang dihasilkan dari setiap variabel AFR yang digunakan pada penelitian ini. Untuk mengetahui nilai scf diperlukan data konsumsi bahan bakar *syngas* pada setiap variabel AFR. Namun karena terjadi kesulitan dalam pengambilan data jumlah *syngas* yang dikonsumsi, maka dilakukan asumsi bahwa *syngas* terkonsumsi disamakan dengan jumlah pengurangan bahan bakar bensin yang digunakan dalam setiap variabel AFR. Sebab pada pengambilan data untuk scf pada penelitian ini menggunakan bahan bakar berupa premium sebagai bahan bakar awal yang kemudian diinjeksikan *syngas* pada variabel AFR yang digunakan. Maka dengan adanya pengurangan konsumsi bahan bakar premium menjadi tolak ukur konsumsi *syngas*.

$$scf = \frac{Gf}{Ne} \quad (4)$$

Pada Persamaan 4 Gf adalah jumlah bahan bakar yang digunakan (dalam kg/jam). Sedangkan Ne merupakan daya efektif yang dibangkitkan (watt). Nilai Gf didapatkan melalui perkalian antara volume dengan densitas dari bahan bakar premium yang dikonsumsi pada variabel AFR.

Secara spesifik, penelitian ini diawali dengan pembakaran awal yang dilakukan dengan membakar MSW menggunakan pemantik api. Pembakaran dilakukan melalui lubang khusus untuk pembakaran yaitu di daerah tenggorokan reaktor. Setelah dilakukan proses pembakaran, blower dihidupkan untuk menginjeksikan udara dari pemasukkan udara input, yaitu sebelah atas reaktor. Suhu pada reaktor ketika dilakukan proses pembakaran selalu dipantau. Pengontrolan suhu dilakukan pada empat zona gasifikasi, yaitu zona *drying*, *pyrolysis*, oksidasi, dan reduksi. Akan tetapi suhu disini tidak ditetapkan, sebab perubahan nilai AFR akan mempengaruhi suhu gasifikasi. Setelah itu, dilakukan penyesuaian nilai AFR dengan mengontrol aliran udara yang masuk dan dibandingkan dengan jumlah MSW yang ada. Cara perhitungan AFR dapat dilihat pada Persamaan 6. Pada penelitian ini, MSW yang digunakan divariasikan berdasarkan nilai AFR rasio yang ditentukan yaitu 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Sedangkan volume udara yang digunakan di atur tetap yaitu $25 Nm^3/jam$. Setelah tercapainya nilai AFR yang ditentukan, maka dilakukan proses pengambilan sampel *syngas* menggunakan *syringe* dan *spute* yang dimasukkan ke dalam *vacutainer* 10 ml. Akhirnya sampel *syngas* diujikan di Laboratorium Analisis Instrumen Universitas Gadjah Mada. Alat yang digunakan adalah *chromatography* (GC) SHIMADZU GC 14 B Japan dengan kolom SUS *Packed Column* Propak Q, 5 m x 4 mm I.D. Setelah didapatkan hasil analisis, dilakukan proses pengolahan data untuk mengetahui kualitas dari proses gasifikasi pada setiap nilai AFR yang digunakan. Kualitas proses gasifikasi berupa kadar *syngas* yang dihasilkan pada setiap variasi AFR. Selain itu dilihat juga pada penelitian ini dilihat nilai CGE, CCE, dan scf.

$$AFR = \frac{V_{udara} \times \rho_{udara}}{m_{MSW}} \quad (6)$$

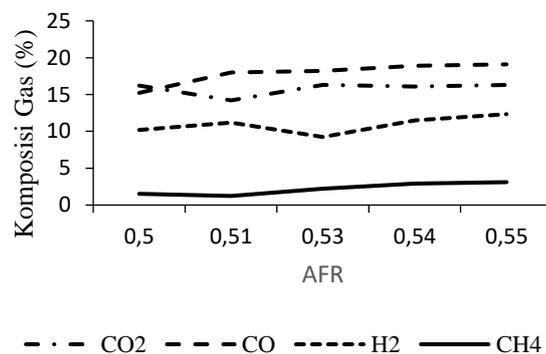
Pada Persamaan 6, V_{udara} merupakan volume udara yang digunakan dalam variasi AFR (m^3). ρ_{udara} merupakan massa jenis udara (Kg/m^3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Syngas yang Dihasilkan

Dari penelitian ini dapat dilihat hasil *syngas* yang didapatkan dari proses gasifikasi dengan adanya variasi AFR yang digunakan. Pengaruh variasi AFR terhadap nilai *syngas* yang dihasilkan oleh proses gasifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa terjadi peningkatan kadar *syngas* untuk semua jenis senyawa *syngas*, baik CO_2 , CO , H_2 , maupun CH_4 . Pada hasil penelitian memperlihatkan peningkatan CO_2 dari 16,21; 14,21; 16,31, 16,3% untuk AFR 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Selain itu CO_2 juga mengalami peningkatan yang cukup besar pada keadaan tersebut, yaitu 15,23; 18; 18,23; 18,9; 19,1. H_2 mengalami sedikit peningkatan yaitu dari 10,21; 11,21; 9,24; 11,51; 12,34. Terakhir untuk CH_4 terjadi peningkatan juga pada kondisi tersebut yaitu dari 1,54; 1,23; 2,23; 2,9; hingga 3,11.



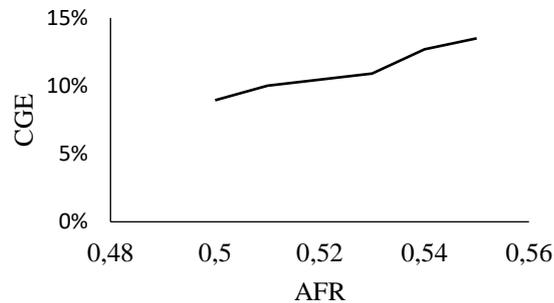
Gambar 3. Pengaruh Variasi AFR Terhadap Syngas Gasifikasi MSW

Data pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan kadar *syngas* dengan meningkatnya nilai AFR, walaupun tidak signifikan. Hal ini terjadi kemungkinan karena meningkatnya AFR menyebabkan semakin sempurna pembakaran pada proses gasifikasi, sehingga terjadinya peningkatan konversi MSW menjadi *syngas*. Secara rinci, CO_2 pada penelitian ini meningkat dengan meningkatnya AFR, artinya bahwa terjadi peningkatan kadar oksigen pada proses pembakaran, seperti pada Persamaan 6. Selain itu, CO_2 juga mengalami peningkatan dengan meningkatnya AFR, hal ini kemungkinan terjadi karena adanya peningkatan CO_2 dan konsumsi MSW, hal ini dapat dijelaskan dengan Persamaan 7. Sedangkan dengan bertambahnya kadar AFR juga meningkatkan kadar H_2 , hal ini dapat dijelaskan dengan terjadinya peningkatan konsumsi MSW dalam hal ini mewakili karbon, dapat dijelaskan dengan Persamaan 8 dan 9. Untuk senyawa CH_4 sendiri juga mengalami peningkatan, hal ini dapat dijelaskan dengan terjadinya peningkatan konsumsi karbon serta meningkatnya H_2 yang dihasilkan pada Persamaan 8 dan 9, hal ini dapat dijelaskan dengan melihat Persamaan 10. Di lain pihak, hasil ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya, dimana dikatakan bahwa terjadi kecenderungan peningkatan kadar *syngas* dengan bertambahnya AFR pada gasifikasi tipe *downdraft* [15], [16].



B. Pengaruh AFR Terhadap Nilai *Cold Gas Efficiency* (CGE)

Pada penelitian ini memperlihatkan adanya pengaruh nilai *Cold Gas Efficiency* (CGE) yang dihasilkan dari proses gasifikasi dengan adanya peningkatan nilai AFR gasifikasi. Hasil dari pengaruh AFR terhadap nilai CGE dapat dilihat pada Gambar 4.

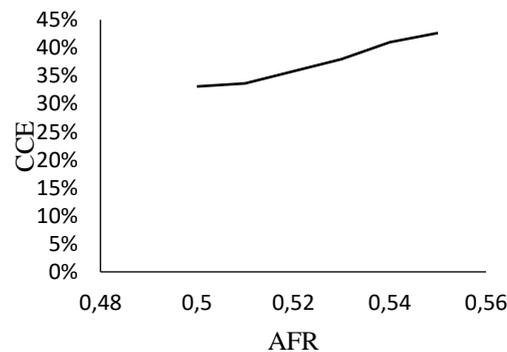


Gambar 4. Pengaruh AFR terhadap Nilai CGE

Pada Gambar 4 terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai CGE dengan peningkatan AFR yang digunakan. Nilai CGE meningkat dari 9, 10, 11, 13, 13% dengan peningkatan AFR dari 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Peningkatan ini kemungkinan terjadi karena adanya peningkatan kadar *syngas* dengan meningkatnya AFR. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan nilai LHV_{syngas} seperti pada Persamaan 3. Di lain pihak, pada persamaan untuk menentukan CGE, $LHV_{feedstock}$ nilainya tetap dan dengan massa MSW terus bertambah. Hasil ini didukung juga oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa dengan bertambahnya AFR mengakibatkan kadar *syngas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi meningkat, sehingga nilai CGE juga mengalami peningkatan yang signifikan, baik untuk bahan baku MSW maupun biomassa [17], [18].

C. Pengaruh AFR Terhadap Nilai *Carbon Conversion Efficiency* (CCE)

Pada penelitian ini memperlihatkan adanya pengaruh nilai *Carbon Conversion Efficiency* (CCE) yang dihasilkan dari proses gasifikasi dengan adanya peningkatan nilai AFR gasifikasi. Hasil dari pengaruh AFR terhadap nilai CCE dapat dilihat pada Gambar 5.



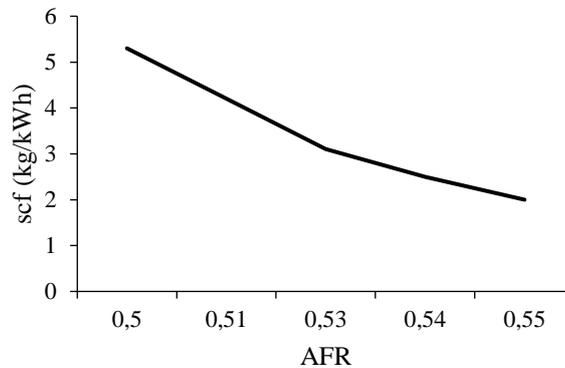
Gambar 5. Pengaruh AFR terhadap nilai CCE gasifikasi MSW

Gambar 5 memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan nilai CCE dengan peningkatan AFR yang digunakan. Nilai CCE meningkat dari 33, 34, 38, 41, 43% dengan peningkatan AFR dari 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Peningkatan ini kemungkinan terjadi karena adanya peningkatan kadar *syngas* dengan meningkatnya AFR. Di lain pihak, pada persamaan untuk menentukan CCE, terlihat bahwa, pada penelitian ini memperlihatkan terjadinya peningkatan nilai CCE disebabkan karena adanya peningkatan debit *syngas*. Di lain pihak massa MSW menurun dengan meningkatnya AFR yang digunakan. Hasil ini didukung juga oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa dengan bertambahnya AFR mengakibatkan kadar *syngas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi pun meningkat, sehingga nilai CCE juga ikut mengalami peningkatan, baik untuk bahan baku MSW maupun biomassa [19], [20].

Namun pada hasil ini pula terlihat bahwa nilai CCE tidak lebih dari 50%, artinya bahwa tidak terjadi efisiensi yang besar untuk konversi karbon. Hal ini kemungkinan terjadi karena nilai AFR yang digunakan terlalu besar, namun bisa diatasi dengan menurunkan kadar AFR yang digunakan.

D. Pengaruh AFR Terhadap Nilai *Consumption Conversion Spesific* (scf)

Untuk pengaruh nilai AFR terhadap nilai scf yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh AFR Gasifikasi Terhadap Nilai scf

Dari Gambar 6 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai scf dengan bertambahnya AFR yang digunakan. Pada penelitian terjadi penurunan scf dari 5,3; 4,2; 3,1; 2,5; dan 2 dengan peningkatan AFR dari 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadinya penurunan nilai scf ini yang kemungkinan disebabkan karena terjadinya pembakaran yang semakin sempurna dengan nilai AFR semakin besar, sehingga *mass flow rate* dari *syngas* semakin besar, yang mengakibatkan waktu konsumsi yang diperlukan dari minyak premium juga akan semakin lama. Sehingga dari hasil ini membuktikan bahwa konsumsi minyak akan menurun, dan mengakibatkan nilai scf terus menurun dengan bertambahnya nilai AFR pada penelitian [21], [22].

KESIMPULAN

Penelitian ini memperlihatkan bahwa adanya pengaruh dari kualitas proses gasifikasi MSW yang berlangsung dengan adanya peningkatan nilai AFR dengan variasi nilai 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Dari hasil penelitian memperlihatkan peningkatan kadar *syngas* gasifikasi MSW dengan adanya peningkatan nilai AFR, walaupun tidak terlalu signifikan. Pada hasil penelitian memperlihatkan peningkatan CO₂ dari 16,21; 14,21; 16,31, hingga 16,3% untuk peningkatan AFR dari 0,5; 0,51; 0,53; 0,54; 0,55. Selain itu CO juga mengalami peningkatan yang cukup besar pada keadaan tersebut, yaitu dari 15,23; 18; 18,23; 18,9; 19,1. H₂ mengalami sedikit peningkatan yaitu dari 10,21; 11,21; 9,24; 11,51; 12,34. Terakhir untuk CH₄ terjadi peningkatan juga pada kondisi tersebut yaitu dari 1,54; 1,23; 2,23; 2,9; hingga 3,11. Sedangkan nilai CGE mengalami peningkatan dengan meningkatnya AFR proses gasifikasi MSW. Peningkatan terjadi dari 9 hingga 13%, walaupun hasil ini masih sangat rendah. Di lain pihak, CCE pun mengalami peningkatan dengan meningkatnya AFR gasifikasi MSW. Peningkatan nilai yang terlihat yaitu dari 33-43%. Hasil ini juga masih tergolong kecil, artinya bahwa efisiensi konversi karbon pada proses ini sangat rendah. Pada bagian akhir terlihat bahwa nilai scf menurun dengan bertambahnya AFR. Penurunan yang didapatkan yaitu dari 5,3 hingga 2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Universitas Teknologi Sumbawa yang telah memberikan hibah internal berupa dana riset sehingga dapat dilaksanakan penelitian yang sangat berguna bagi kemajuan teknologi dalam bidang *waste management* dan energi terbarukan ini.

REFERENSI

- [1] OECD, "International Energy Agency," France, 2015.
- [2] PWC, "Power in Indonesia: investment and taxation guide," 2017. <https://www.pwc.com> (accessed Apr. 05, 2022).
- [3] J. Widodo, "Statement the president of the republic of Indonesia H.E, in: Joko Widodo at the Leaders's Event 21st Conference of the Parties to the UNFCCC Paris," France, 2015.
- [4] K. Chelminski, "The Political Economy of Energy Access and Sustainable Energy Transitions in Indonesia," *L'Europe en Form.*, pp. 146–165, 2016.
- [5] ADB, "Achieving Universal Electricity Access in Indonesia, Asian Development Bank (ADB), Manila, Philippines, 2016," 2016. <https://www.adb.org/> (accessed Apr. 01, 2021).
- [6] M. . Hasan, W. K. Muzammil, T. M. I. Mahlia, A. Jannifar, and I. Hasanuddin, "A review on the pattern of electricity generation and emission in Indonesia from 1987 to 2009," *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, vol. 5, pp. 3206–3219, 2012.
- [7] B. Prabir, *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design*. USA: Elsevier.Inc, 2010.
- [8] K. P. Tapas and N. S. Pratik, "Biomass Gassification Models for Downdraft Gasifier : A State of The Art Review," *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2015.
- [9] A. P. Salam, "Report On The Status of Biomass Gasification In Thailand and Cambodia, Prepared for: Energy Environment Partnership (EEP)," Mekong Region, 2010.
- [10] D. S. Upadhyay, A. K. Sakhiya, K. Panchal, A. H. Patel, and R. N. Pate, "Effect of Equivalence Ratio on The Performance of The Downdraft Gasifier - An Experimental and Modelling Approach," *Energy*, vol. 168, pp. 833–846, 2019.
- [11] J. A. Ruiz, M. C. Juarez, M. P. Morales, P. Munoz, and M. A. Mendivil, "Biomass Gasification for Electricity Generation: Review of Current Technology Barriers," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 18, pp. 174–183, 2013.
- [12] S. Amrullah, I. Perdana, and A. Budiman, "Study on Performance and Environmental Impact of Sugarcane-Bagasse Gasification.," 2017.
- [13] S. Sarker, J. Arauzo, and H. K. Nielsen, "Semi-Continuous Feeding and Gasification of Alfalfa and Wheat Straw Pelets in A Lab-Scale Fluidized Bed Reactor," *Energy Convers. Manag.*, vol. 99, pp. 50–61, 2015.
- [14] F. Kartal and U. Ozveren, "A Deep Learning Approach for Prediction of Syngas Lower Heating Value from CFB Gasifier in Aspen Plus," *Energy*, vol. 209, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118457>.
- [15] J. . Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamental*. USA: Mc Graw-Hill Education, 1988.
- [16] A. Galvez-Perez, M. . Martin-Lara, M. Calero, A. Perez, P. Canu, and G. Blazquez, "Experimental Investigation on The Air Gasification of Olive Cake at Low Temperatures," *Fuel Process. Technol.*, vol. 213, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106703>.
- [17] A. Wiyono, I. M. Gandidi, E. T. Berman, Mutaufiq, and N. A. Pambudi, "Design, Development and Testing of Integrated Downdraft Gasifier and Multi IGCS System of MSW for Remote Areas," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 20, no. 100612, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100612>.
- [18] G. Young, "Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes: Economic, Technical and Renewable Comparisons," *J. Wiley Sons, Inc.*, 2010.
- [19] Stantec, "Waste to Energy. A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices. Final Report for Environmental Quality Branch Environmental Protection Division," 2010. www.env.gov.bc.ca/ (accessed Apr. 01, 2021).
- [20] J. J. Hernandez, M. Lapuerta, and E. Monedero, "Characterisation of Residual Char from Biomass Gasification : Effect of The Gasifier Operating Conditions," *J. Clean. Prod.*, vol. 138, pp. 83–93, 2016.
- [21] A. Habibollahzade and M. A. Rosen, "Syngas-Fueled Solid Oxide Fuel Cell Functionality Improvement Through Appropriate Feedstock Selection and Multi-Criteria Optimization Using Air/O₂-Enriched-Air Gasification Agents," *Appl. Energy*, vol. 286, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116497>.
- [22] R. Siriwardane *et al.*, "Development of CuFeMnAlO₄+ δ Oxygen Carrier with High Attrition Resistance and 50-kW_{th} Methane/Air Chemical Looping Combustion Tests," *Appl. Energy*, vol. 286, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116507>.