

Pengembangan Gasifikasi Tongkol Jagung untuk Meningkatkan Performa Reaktor Downdraft dengan Masukan Dua Udara Bertingkat

Ibnu Irawan^{1*}, Nizar Amir¹, Khairil Budiarto¹

¹ Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura

Jl. Raya Kamal No 02 Kamal Bangkalan Madura 69162 Jawa Timur

*Ibnu.irawan@trunojoyo.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.9172>

ABSTRACT

Gasification is a technology for converting solid biomass into syngas. Corn cobs biomass is converted into pellets to obtain more homogeneous fuel. The downdraft gasifier type is used to have low tar content. The research was conducted to see the effect of the ratio of air and ER on the reactor temperature and the gas composition of CO, H₂ and CH₄. For pyrolysis and oxidation zones, air enters with variations (AR.Pir-Ox), namely 0%; 70%; 80%; and 90% in the intake air 14.5; 19.3; and 24.1 Nm³ / hr of E.R 0.3, 0.4, and 0.5. The air intake for each zone is regulated using a tap. Temperature measurement using type K thermocouple. Downdraft reactor performance is obtained by looking at the syngas content in CO, H₂, and CH₄ meters. The results showed the effect of AR.Pir-Oks with an air input of 24.10 Nm³ / h with E.R 0.5 having the highest temperature of 910°C, in the oxidation zone. This stratified air input plays a role in increasing the temperature along the altitude zone. The increase in the introduced oxygen produces an increase in heat. Syngas production in an air flow of 19.3 Nm³ / hour with a ratio of 90% pyrolysis and oxidation zone (AR.Pir-Oks), is the reactor produces gas products with a composition of 22.5% CO, 0.96% CH₄, and 15.55 H₂ %. The results of this test prove that the air entering the pyrolysis zone can provide additional syngas composition.

Keywords: corn cobs, downdraft reactor, multiple air intake, syngas

PENDAHULUAN

Jawa timur masih mempunyai wilayah potensi untuk sentra produksi jagung. Kawasan ini berada di empat kabupaten dalam wilayah Madura yaitu, daerah Bangkalan, Pamekasan, Sampang dan paling ujung adalah Sumenep. Madura sedikitnya memiliki lahan potensial untuk menanam jagung dengan lahan mencapai 300.000 hektare, dimana produksi jagung di Madura per hektar dapat mencapai 10 ton. Hasil produk jagung dapat ditingkatkan agar dapat terpenuhi kebutuhan rakyat banyak. Produk jagung di Indonesia pada 2018 mengalami kenaikan hingga sampai 30 juta ton. Sedangkan kebutuhan suplai jagung untuk industri dan ternak pada sekarang ini sampai 7,8-11,1 juta ton pertahun. Pemanfaatan tongkol atau bonggol jagung daerah Indonesia yaitu sebagai bahan kerajinan, bahan pakan ternak dan bahan briket. 35% berat tongkol jagung ini tersebut adalah dari jagung itu sendiri. Ketersediaan biomassa

tongkol ini melimpah dan terus menerus setelah masa panen tiba. Dengan ketersediaan biomassa yang tidak dipakai tersebut, maka kesempatan pemanfaatan biomassa untuk dijadikan sumber energi bertambah meningkat. Kebanyakan masyarakat yang menghasilkan bahan pertanian jagung akan menggunakan tongkol jagung ini sebagai media pengganti kayu untuk dibakar. Tongkol jagung setelah dikeringkan dapat menghasilkan energi panas yang optimal. Dengan adanya konversi tongkol jagung ini diharapkan dapat bermanfaat lebih dan bernilai ekonomis untuk kebutuhan manusia perlu dioptimalkan (Putera *et al.*, 2016).

Bahan organik atau sampah yang berasal dari tanaman adalah biomassa, baik digunakan secara langsung maupun tidak dan juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan energi yang alternatif untuk mengganti energi bahan bakar fosil (Molino *et al.*, 2016). Beberapa sumber biomassa yang

Article History:

Received: December 17th 2020; **Accepted:** Feb, 27th 2021

Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

Cite this as:

Irawan, I., Amir, N & Budiarto, K. (2021). Pengembangan Gasifikasi Tongkol Jagung untuk Meningkatkan Performa Reaktor Downdraft dengan Masukan Dua Udara Bertingkat. *Rekayasa* 14 (1). 49-56.

doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.8698>

© 2021 Luhur Mukti Prayogo, Abdul Basith

berpotensi untuk digunakan sebagai bahan untuk energi alternatif adalah limbah tongkol jagung. Biomassa dari perkebunan dan pertanian, memiliki kemampuan yang sangat besar untuk dimanfaatkan energinya ke bentuk energi yang lain (Guo *et al.*, 2014), yaitu gasifikasi ini. Biomassa jagung menjadi pilihan bahan bakar untuk mencari karakteristik *syngas* menggunakan reaktor *downdraft-type* pada masukan dua udara yang bertingkat (Surjosatyo *et al.*, 2010). Proses pembentukan biomassa tongkol jagung menjadi bahan baku siap bakar ini dimulai dari proses penggilingan tongkol jagung menjadi serbuk, dimana serbuk ini nanti diolah menjadi briket untuk bahan bakar (Nhuchhen & Salam, 2012).

Gasifikasi adalah proses perubahan kimia dengan panas yang merubah biomassa karbon atau biomassa kering dikonversi ke bahan bakar gas yang bermanfaat juga ke bahan kimia melalui sebuah proses pembakaran atau oksidasi separuh dengan mengatur tekanan udara masuk (Suhendi *et al.*, 2017). Gasifikasi pada umumnya dibagi menjadi beberapa proses tahapan: 1) Pengerinan atau *drying* merupakan tahapan penguapan uap air yang terkandung dalam biomassa (tahap endotermik); 2) *Pyrolysis* adalah proses perubahan bentuk termal dari biomassa sebagai bahan bakar tanpa atau sedikit udara (tahap endotermik); 3) Pembakaran atau *oxidation* yaitu pemberian energi panas kepada biomassa (tahap eksotermis) (Basu, 2010).

Reduksi merupakan produk dari tahapan sebelumnya, yaitu daerah pirolisis, daerah oksidasi, kombinasi gas dan arang bereaksi sehingga proses terbentuknya produk menghasilkan energi kimia dan energi dari *syngas*. Output dari penelitian gasifikasi ini yang diambil berupa bahan *syngas* yang mengandung unsur dari beberapa gas karbon-monoksida (CO), gas hidrogen (H₂) dan gas metana (CH₄). Gas hasil dari proses pembakaran parsial, mengandung residu seperti tar, partikel-partikel abu, gas nitrogen, dan sulfur (H₂S, dan COS). Sebuah perbaikan mekanisme dalam hal pengurangan kandungan tar dalam proses reaksi pembakaran adalah penentuan jenis reaktor gasifikasi. Penentuan terbaik dari pemilihan jenis reaktor, mayoritas peneliti yang menggunakan reaktor *downdraft-type* sebagai mesin konversinya. Gasifikasi menggunakan reaktor ini memiliki kelebihan dan nilai efisien konversi energi yang lebih optimal, dengan tar sebagai komposisinya dan kandungan mini partikel dalam *syngas* jika

dibandingkan dengan reaktor *downdraft type* lainnya.

Udara yang masuk secara bertingkat adalah metode utama yang digunakan pada reaktor *downdraft gasifier* dengan maksud untuk penurunan kandungan jumlah tar dan meningkatnya kualitas *syngas*. Untuk proses gasifikasi ini yaitu dengan penambahan jumlah udara masukan pada dinding reaktor di daerah pirolisis dan daerah oksidasi. Berdasarkan teori dari tahapan proses gasifikasi udara masuk secara bertingkat sama dengan udara masuk tunggal, dengan perbedaan hanya pada peningkatan suhu saat udara dimasukkan pada daerah *pyrolysis* di dalam reaktor. Materi yang dibentuk saat ini pada daerah pirolisis yaitu berupa volatil-volatil gas, tar dan tar ringan. Tar ringan terbentuk saat temperatur pada daerah pirolisis dapat dicapai (maks. temperatur 700 °C). Tar dapat terurai seluruhnya meskipun tar yang tersisa di dalam gas (Gafur, 2017).

Bahan bakar tongkol jagung pada reaktor jenis *downdraft* dimasukkan kedalam reaktor melalui *hopper* bagian atas reaktor kemudian bergerak kebawah melewati *grate* dan keluar dari bagian bawah reaktor. Media gasifikasi dimasukkan dalam reaktor melalui *nozzle* yang berada disekeliling batas antara daerah pembakaran dan daerah reduksi. Kelebihan dari reaktor jenis *downdraft* adalah kadar tar yang dihasilkan pada proses gasifikasi lebih rendah dibandingkan tipe yang lain. Salah satu sifat nyata dari reaktor jenis ini yaitu adanya *throat* yang merupakan pengerucutan dimensi pada daerah reduksi. Pengerucutan dimensi ini diinginkan dengan tujuan untuk menekan aliran agar semua hasil proses *pyrolysis* melalui bagian yang mengerucut dan termal proses pendistribusian temperatur yang lebih menyeluruh dan juga menekan sebagian tar untuk retak atau terurai (*cracked*). Pada reaktor jenis ini terdapat fenomena yang dinamakan *flamingpyrolysis*, yaitu proses terbakarnya beberapa bagian dari gas hasil pirolisis sebelum masuk ke daerah reduksi sehingga termal energi yang diinginkan untuk proses *drying*, *pyrolysis*, dan *reduction* didapatkan dari proses tersebut.

Ultimate analysis adalah perhitungan kandungan hidrokarbon dari biomassa yang digunakan, kecuali komposisi abu dan air, yang disajikan dalam bentuk jumlah prosentase berat unsur elemen masing-masingnya, jika dijumlahkan secara total prosentase berat dari unsur

hidrokarbon beserta dengan prosentase kandungan abu dan air adalah 100%. *Proximate analysis* adalah kandungan biomassa secara menyeluruh, dalam proses ini adalah kandungan dari komposisi *matter of volatile*, karbon tetap, air dan abu. *Matter of volatile* dari biomassa yaitu kandungan gas yang terkondensasi atau tidak, kemudian diuraikan oleh bahan biomassa pada saat dibakar dengan temperatur tinggi. Nilainya tergantung pada laju pemanasan dan temperatur pada saat bahan bakar tersebut dibakar.

Perancangan dan pengujian dalam menurunkan kandungan tar dan peningkatan kualitas *syngas* pada penelitian terdahulu menggunakan metode primer dengan reaktor jenis *downdraft*. Pengembangan modifikasi reaktor tipe *downdraft* sekarang ini adalah dengan melakukan perubahan sedikit model reaktor tipe ini, yaitu dengan udara masukan tunggal yaitu daerah oksidasi menjadi udara masukan bertingkat atau dua udara masukan. Pemodelan masukan dua udara bertingkat dengan membuat tambahan masuknya udara pada reaktor *downdraft* ini. Dalam hal ini, *gasifier tipe downdraft* mendesain dengan pemahaman dasar untuk pemisahan pada daerah *pyrolysis* dari daerah reduksi dengan zona diatas yang tertutup rapat. Titik pemasukan udara yang pertama berada pada bagian diatas reaktor, dimana separuh bahan baku yang dibakar menghasilkan panas yang diperlukan untuk proses pengeringan (*drying* dan *pyrolysis*, yang berada di atas daerah pembakaran, kemudian proses didalam reaktor terjadi reaksi endotermik. Titik pemasukan udara yang kedua berada di bagian tengah *gasifier*, terdapat pada daerah oksidasi, ini dapat menolong perubahan tar di dalam kandungan materi kecil (Šulc *et al.*, 2012).

Saat reaktor *gasifier* yang digunakan dengan pemasukan udara tipe yang tunggal, temperatur pirolisis, pengeringan dan reduksi dapat tergantung pada panas yang didistribusikan oleh daerah oksidasi, kemudian dilakukan penambahan udara yang masuk pada daerah pirolisis, dapat menimbulkan panas pada keadaannya sendiri dan juga dapat meningkatkan temperatur ke daerah oksidasi, dimana ini sangat menguntungkan proses pecah panas yang bisa mengakibatkan meningkatnya produk *syngas* (Galindo *et al.*, 2014). Peristiwa pemasukan udara yang bertingkat ini didasarkan oleh penambahan udara pada daerah *pyrolysis*, ketika daerah *pyrolysis* ini diberikan udara atau bereaksi pada keadaan oksidatif maka disebut sebagai oksidatif *pyrolysis*. Keadaan pirolisis dalam

keadaan oksidatif akan menaikkan laju kecepatan polimerisasi dan menaikkan perubahan energi bahan bakar (Shi, 2016).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental untuk proses pengujiannya, tempat pengujian penelitian di uji coba di laboratorium sistem otomasi dan robotika selama 5 bulan. Skema peralatan penelitian reaktor *downdraft* dengan masukan dua udara bertingkat menggunakan bahan bakar tongkol jagung disajikan pada Gambar 1.

Prosentase Masukan Udara Daerah Pirolisis dan Daerah Oksidasi

AR_{Pir-Oks} atau perbandingan udara pada daerah pirolisis dan daerah oksidasi dijabarkan sebagai prosentase perbandingan total udara yang ingin di masukkan pada daerah oksidasi dan daerah pirolisis (Persamaan 1). Penelitian ini menggunakan 4 macam variabel perbandingan udara daerah pirolisis dan daerah oksidasi (AR_{Pir-Oks}) adalah 90%, 80%, 70% , dan 0%.

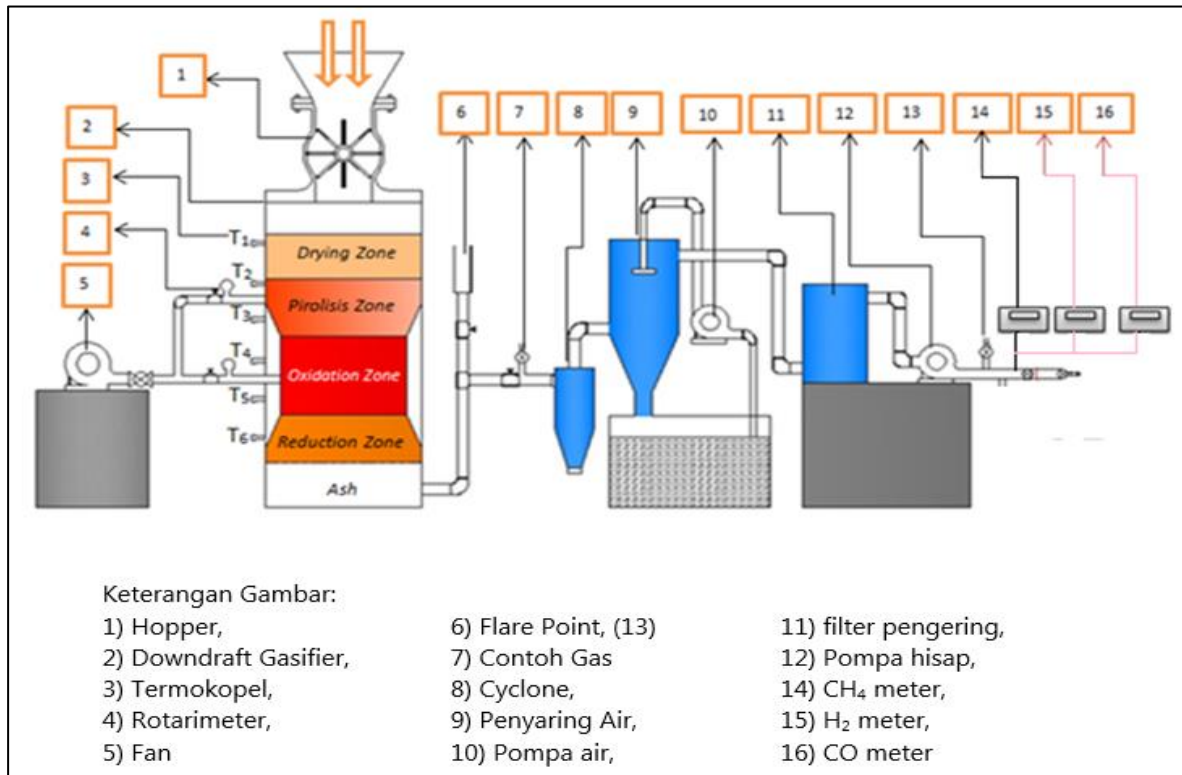
$$AR_{Pir-Oks} = \frac{\dot{m}_{pirolisis}}{\dot{m}_{oksidasi}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

$$\dot{m}_{total\ udara} = \dot{m}_{Pirolisis} + \dot{m}_{Oksidasi} \dots \dots \dots (2)$$

Perhitungan untuk menentukan jumlah udara total yang masuk dan nilai persentase pemasukan udara pirolisis dan oksidasi. Perhitungan total masukan udara dan prosentase masukan daerah pirolisis dan daerah oksidasi diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Pemasukan Udara Untuk Titik Pirolisis Dan Titik Oksidasi Reaktor Gasifikasi

E.R	A.R (%)	Laju udara masuk (Nm ³ /jam)		
		Pirolisis	Oksidasi	Total Udara
0,3	0	0	14,50	14,50
0,4	0	0	19,30	19,30
0,5	0	0	24,10	24,10
0,3	70	5,96	8,54	14,50
0,4	70	7,91	11,40	19,30
0,5	70	9,92	14,22	24,10
0,3	80	6,40	8,10	14,50
0,4	80	19,31	10,69	19,30
0,5	80	10,73	13,38	24,10
0,3	90	6,85	7,65	14,50
0,4	90	9,18	10,13	19,30
0,5	90	11,37	12,73	24,10



Gambar 1. Skema Peralatan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Data *Proximate* dan *Ultimate*

Pengujian data *proximate* dilaksanakan untuk mengetahui *content abu*, *content carbon*, dan *matter of volatile*. Pengujian data *ultimate* dilakukan untuk mengetahui analisa unsur unsur dari Karbon (C), Oksigen (O₂), Hydrogen (H₂), Sulfur (S), dan Nitrogen (N₂).

Tabel 2. Uji data *Proximate* dan *Ultimate*

Parameter	Nilai
Analisa Proximate (% wt)	
Abu	1.80
Matter of Volatile	87.90
Carbon tetap	0.15
Analisa Ultimate (% wt)	
Carbon(C)	47.60
Hydrogen(H ₂)	5.91
Nitrogen(N ₂)	0.84
Sulfur(S)	0.15
Oxygen(O ₂)	38.70
LHV (MJ/kg)	10.85

Distribusi Temperatur Sepanjang Ketinggian Reaktor

Pengujian ini menganalisa pengaruh daripada pemasukan udara bertingkat yaitu pada daerah pirolisis sepanjang distribusi temperatur pada dinding reaktor. Titik pemasukan udara pada

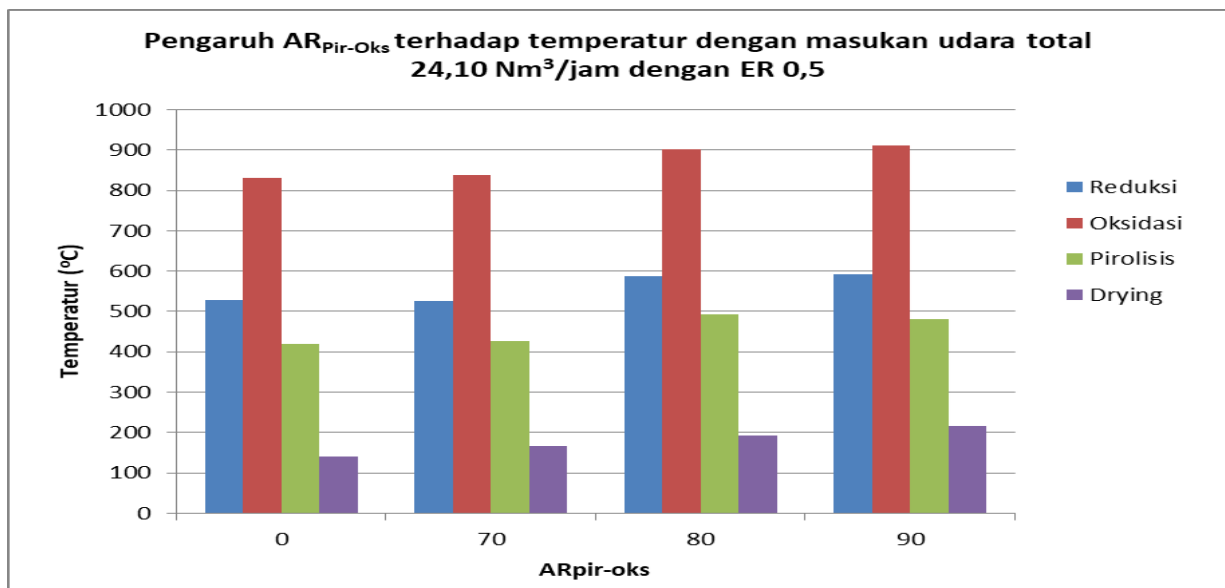
daerah oksidasi berada 30 cm dari *grate reactor*, kemudian pada pemasukan udara bertingkat ditambah pula pada daerah pirolisis berada 60 cm dari *grate reactor* (Tabel 3).

Pengaruh AR_{Pir-Oks} terhadap Temperatur pada Pemasukan Total Udara 24,10 Nm³/h dengan E.R 0,5.

Gambar 3 Menunjukkan pengaruh AR_{Pir-Oks} terhadap pemasukan total udara 24,10 Nm³/h dengan E.R 0,5 dengan nilai temperatur tertinggi yaitu 910°C. Pada masukan udara bertingkat variabel A.R_{Pir-Oks} berpengaruh terhadap peningkatan temperatur pada daerah ketinggian dari reaktor (Bhardwaj *et al.*, 2009). Kejadian ini disebabkan karena saat daerah pirolisis diberikan udara masukan, maka daerah pirolisis tidak akan memiliki sifat endothermal tetapi menjadi sifat eksotermal, oleh sebab itu jumlah energi termal yang diperlukan untuk merubah komposisi unsur dari biomassa disuplai dari daerah itu juga dan menyajikan tambahan panas untuk proses yang lain. Peningkatan nilai volume oksigen yang dimasukkan mendapatkan hasil peningkatan energi panas (Martínez *et al.*, 2011).

Tabel 3. Data Nilai Temperatur pada Dinding Reaktor Gasifikasi

Para meter	Unit	Hasil												
		0	0	0	70	70	70	80	80	80	90	90	90	
Udara masuk	Nm ³ /h	14,5	19,3	24,1	14,5	19,3	24,1	14,5	19,3	24,1	14,5	19,3	24,1	
Ketinggian Reaktor	-15	Reduksi	503	487	529	518	523	525	554	588	587	580	605	593
	30	Oksidasi	804	818	830	800	816	837	875	890	901	885	890	910
	50	Oksidatif Pirolisis	419	476	500	501	517	540	604	611	660	612	618	662
	60	Pirolisis	388	413	420	385	408	427	432	463	493	450	506	481
	90	Drying	97	107	140	105	120	167	135	155	192	156	175	216



Gambar 3. Pengaruh AR_{Pir-Oks} terhadap Temperatur pada Pemasukan Total Udara 24,10 Nm³/h E.R 0,5.

Tabel 4. Komposisi syngas

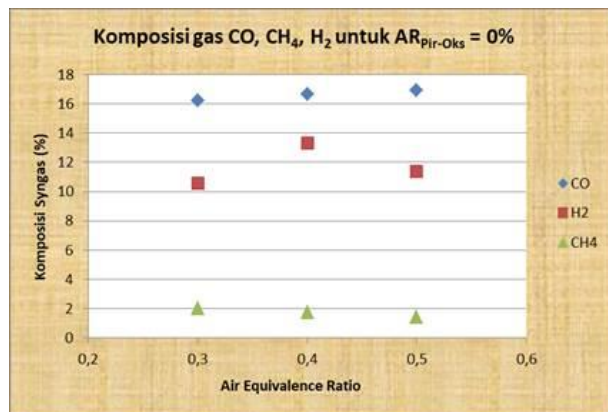
Para meter	Unit	Hasil											
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
AR _{Pir-Oks}	%	0	0	0	70	70	70	80	80	80	90	90	90
Aliran Udara	Nm ³ /h	14,5	19,3	24,1	14,5	19,3	24,1	14,5	19,3	24,1	14,5	19,3	24,1
CO	% Vol	16,24	16,63	16,9	17,8	18,12	18,4	19,4	20,84	18,76	19,73	22,5	21,69
H ₂	% Vol	10,55	13,31	11,37	11,47	13,76	10,83	13,6	16,33	14,72	13,8	15,55	14,12
CH ₄	% Vol	2,02	1,75	1,42	1,6	1,72	1,2	1,62	1,3	1,2	1,11	0,96	0,84

Manfaat utama dari proses reaksi gasifikasi melalui pemasukan udara secara bertingkat ini lebih baik untuk meningkatkan nilai suhu selama terjadinya proses reaksi gasifikasi dan peningkatan suhu tidak hanya ada dimana tambahan udara yang dimasukkan tersebut, akan tetapi terjadi juga pada sepanjang daerah gasifikasi.

Pengaruh E.R=0,3; E.R=0,4; E.R=0,5 terhadap Kandungan Gas pada A.R_{Pir-Oks} = 0%

Gambar 4 Menunjukkan efek dari *Equivalence Ratio* (E.R) terhadap kandungan bahan *syngas* pada pemasukan jumlah udara bertingkat (untuk A.R_{Pir-Oks} = 0%). Kandungan nilai H₂ (13,31% volume) terjadi peningkatan pada E.R 0,4 dimana, nilai tersebut kemudian turun sedikit seiring dengan

meningkatnya nilai temperatur karena meningkatnya E.R yang bertambah. Pada sisi yang lain kandungan nilai CO semakin naik seiring dengan bertambahnya E.R, yaitu dengan kandungan CO (16,90 % volume) nilai paling tinggi berada pada E.R 0,5. Keadaan ini dapat digambarkan karena ketika E.R semakin naik, reaksi oksidasi parsial untuk Carbon + $\frac{1}{2}O_2$ menjadi CO terbentuk antara arang panas dan O_2 . Reaksi ini juga terjadi pada daerah reduksi pada reaksi *boudouard* yaitu $CO_2 + C = 2CO$, terjadi akibat peningkatan konsentrasi CO_2 di daerah oksidasi pada saat nilai E.R bertambah, oleh sebab itu juga dikemukakan bahwa bertambahnya gas CO karena bertambahnya jumlah oksigen saat E.R naik (Khonde & Chaurasia, 2016). Komposisi dari CH_4 menunjukkan pola penurunan seiring dengan meningkatnya nilai E.R, keadaan ini disebabkan karena pada temperatur yang besar kecepatan proses hidrogasifikasi Carbon + $2H_2$ menjadi CH_4 sangat pelan. E.R ini memiliki dampak minimal pada konsentrasi CH_4 (Raman et al., 2013; Chen et al., 2009).

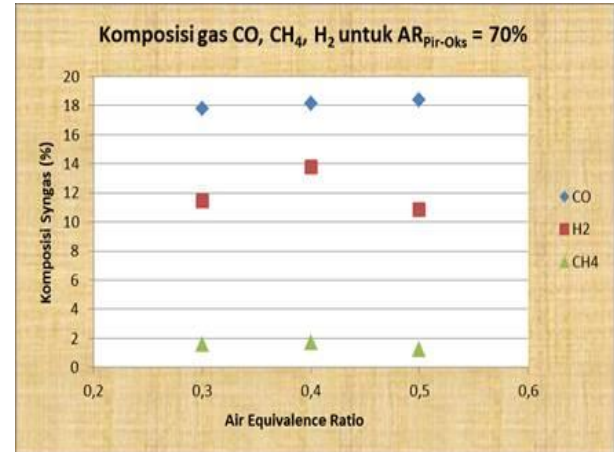


Gambar 4. Kandungan Gas CO, H₂, dan CH₄ sebagai Fungsi E.R=0,3, E.R=0,4, dan E.R=0,5 untuk A.R_{Pir-Oks} = 0%

Pengaruh E.R=0,3; E.R=0,4; E.R=0,5 terhadap Kandungan Gas pada A.R_{Pir-Oks} = 70%

Efek dari nilai E.R pada kandungan syngas untuk pemasukan udara bertingkat (A.R_{Pir-Oks} = 70%) ditunjukkan pada Gambar 5. Seiring meningkatnya nilai E.R dari 0,3; 0,4; dan 0,5, komposisi CO semakin meningkat dari nilai 17,8% menjadi 18,4%. Kandungan gas H₂ sebesar (13,76% volume) paling tinggi berada pada E.R 0,4, dan menurun (10,83% volume) pada ER 0,5. Data hasil yang didapatkan tidak jauh berbeda dengan yang pemasukan udara bertingkat pada (A.R_{Pir-Oks} = 0%) dimana hal ini tidak ada pengaruh yang besar pada hasil kandungan

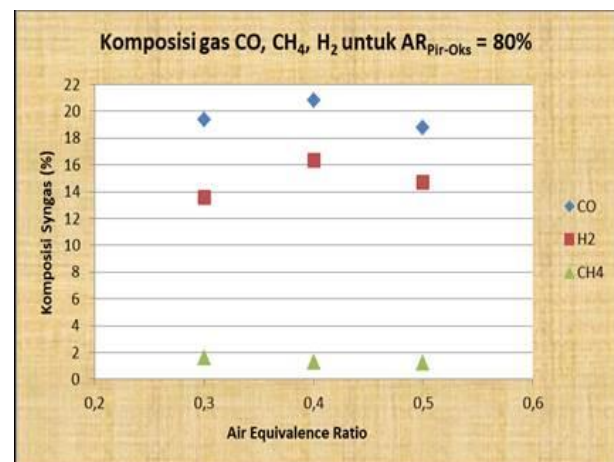
syngas untuk pemasukan udara secara bertingkat pada A.R_{Pir-Oks} = 70%. Hal ini disebabkan karena stabilnya nyala api pada daerah pirolisis (Galindo et al., 2014). Untuk pengoperasian jenis reaktor dengan udara masuk bertingkat ini sangat tergantung pada stabilnya nyala api ini pada daerah pirolisis dimana karena keseimbangan antara pergerakan energi panas keatas dan kebawah yang solid.



Gambar 5. Komposisi Gas CO, H₂, CH₄ sebagai Fungsi E.R=0,3, E.R=0,4, dan E.R=0,5 untuk A.R_{Pir-Oks} = 70%

Pengaruh E.R=0,3; E.R=0,4; E.R=0,5 terhadap Kandungan Gas pada A.R_{Pir-Oks} = 80%

Gambar 6 menjelaskan pengaruh dari nilai E.R pada kandungan syngas untuk pemasukan udara secara bertingkat pada (A.R_{Pir-Oks}=80%). Nilai kandungan gas CO, gas CH₄, dan gas H₂ untuk A.R_{Pir-Oks} = 80% untuk fungsi dari E.R menunjukkan nilai gas CO, CH₄, dan H₂, masing-masing 20,84% volume; 1,3% volume; dan 16,33% volume untuk nilai ER 0,4 (laju total udara 19,3 Nm³/h).

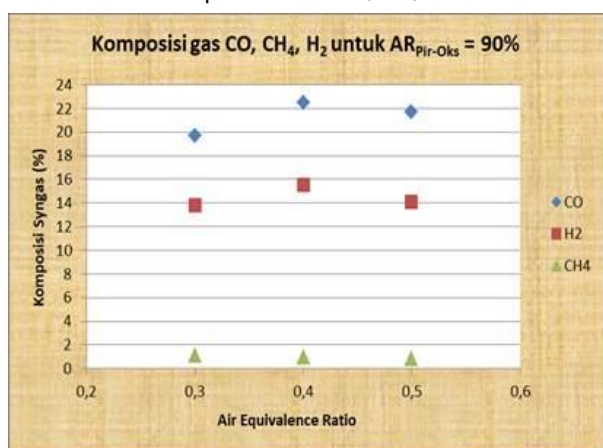


Gambar 6. Komposisi Gas CO, H₂, CH₄ sebagai Fungsi E.R=0,3; E.R=0,4; E.R=0,5 untuk A.R_{Pir-Oks} = 80%

Komposisi gas menurun ketika reaktor beroperasi pada ER 0,5 yaitu dengan penurunan nilai gas CO, CH₄, dan H₂, masing-masing 18,76% volume; 1,2% volume; dan 14,72% volume. Pada kondisi E.R 0,5 mengalami penurunan kandungan gas karena disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar menuju sempurna atau tidak parsialnya pada proses oksidasi, sehingga gas hidrogen, dan metan menjadi sedikit.

Pengaruh E.R=0,3; E.R=0,4; E.R=0,5 terhadap Kandungan Gas pada A.R_{Pir-Oks} = 90%

Komposisi syngas CO, CH₄, dan H₂ untuk nilai AR_{Pir-Oks} = 90% merupakan fungsi dari E.R ditunjukkan pada Gambar 7. Untuk kondisi AR_{Pir-Oks} = 90%, data nilai dari komposisi syngas CO, CH₄, dan H₂ masing-masing 22,5% volume; 0,96% volume dan 15,55% volume diperoleh pada nilai E.R 0,4. Kandungan syngas yang tinggi pada CO dan H₂ berada pada E.R 0,4 dan pengaturan AR_{Pir-Oks} = 90%, hal ini dipengaruhi stabilnya kinerja dan reaksi yang baik dari daerah pirolisis dan proses pembakaran. *Equivalence Ratio* ini memiliki pengaruh pada setiap pengaturan AR_{Pir-Oks} 0%, 70%, 80%, dan 90% terhadap beberapa komposisi syngas yang menunjukkan nilai E.R 0,4 dan pengaturan AR_{Pir-Oks} = 90% merupakan pemasukan udara yang terbaik. Nilai komposisi gas paling rendah berada pada E.R = 0,3 dan AR_{Pir-Oks} = 0%. Penelitian sebelumnya (Suliono *et al.*, 2017) pada masukan udara tunggal 0% konvensional ER menjadi variabel kontrol dalam proses gasifikasi, untuk mempertahankan efektifitas gasifikasi agar bekerja dalam kondisi optimal nilai ER harus berada pada rentan 0,2-0,4.



Gambar 6. Komposisi Gas CO, H₂, CH₄ sebagai Fungsi E.R=0,3; E.R=0,4; E.R=0,5 untuk A.R_{Pir-Oks} = 90%

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Peningkatan temperatur ini dapat menyebabkan peningkatan produksi gas yang mudah menguap di daerah pirolisis. Daerah pirolisis paling tinggi 506⁰ C berada pada laju total udara 19,3 Nm³/h dan perbandingan antara daerah pirolisis dan daerah oksidasi pada pengaturan (AR_{Pir-Oks}) 90%. Hasil penelitian menunjukkan nilai temperatur meningkat seiring dengan peningkatan Equevalence Ratio dan AR_{Pir-Oks}, hal ini terlihat temperatur pirolisis dan oksidasi tertinggi dicapai pada ER=0,5 pada AR_{Pir-Oks} 90%, masing-masing 506⁰ C dan 910⁰ C sedangkan temperatur pirolisis dan oksidasi paling rendah dicapai pada masukan udara tunggal (AR_{Pir-Oks} 0%) pada ER 0,3 masing-masing 388⁰C dan 804⁰C.

Keuntungan yang utama untuk pemasukan udara secara bertingkat ini adalah suhu yang semakin naik, bukan hanya terjadi pada saat udara yang dimasukkan akan tetapi terjadi juga sepanjang daerah gasifikasi sehingga hal ini begitu baik untuk proses meningkatkan kualitas syngas. Pemasukan aliran udara 19,3 Nm³/jam dengan rasio untuk daerah pirolisis dan oksidasi (AR_{Pir-Oks}) 90%, hasilnya adalah reaktor menghasilkan produk gas dengan komposisi CO 22,5% volume; CH₄ 0,96% volume, dan H₂ 15,55% volume. Data dari hasil pengujian ini menjelaskan bahwa pemasukan udara pada daerah pirolisis memungkinkan dapat meningkatnya produk kandungan syngas.

Saran

Riset pengembangan pada reaktor gasifikasi dengan modifikasi pemasukan udara secara bertingkat senantiasa membutuhkan pengembangan lebih dalam. Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk kelanjutan dari riset pengembangan ini adalah sebagai berikut:

1. Riset berikutnya dapat juga melakukan tambahan alat ukur *flowmeter* udara setiap masukan, agar nilai volume udara dapat terukur dengan tepat.
2. Penting dilakukan sebuah penelitian baru pada pengaruh pengaturan AR_{Pir-Oks} (85%-95%) dan nilai E.R (0,3 sampai 0,4) dalam jangkauan yang lebih kecil lagi, agar mendapatkan sebuah nilai kombinasi yang baik dan hasil yang lebih optimal dalam meningkatkan kinerja reaktor *gasifier* tipe downdraft.
3. Dapat juga melakukan penelitian lebih khusus pada sistem pembersihan kandungan tar pada

reaktor ini, dimana kandungan tar ini juga mempengaruhi suhu pada bagian-bagian daerah dalam *reactor gasifier* yang belum meminimalisasi tar dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Basu, P. (2010). Biomass Characteristics. In *Biomass Gasification Design Handbook* (First Edit). © 2010 Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374988-8.00002-7>
- Bhardwaj, S., Sharon, M., & Sharon, M. (2009). Pyrolysis. In *Pyrolysis: Types, Processes, and Industrial Sources and Products*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1201/9781420078848.ch25>
- Chen, Y., Luo, Y. H., Wu, W. G., & Su, Y. (2009). Experimental investigation on tar formation and destruction in a lab-scale two-stage reactor. *Energy and Fuels*, 23(9), 4659–4667. <https://doi.org/10.1021/ef900623n>
- Gafur, A. (2017). *Studi Eksperimental Gasifikasi Pelempah Kelapa Sawit untuk Meningkatkan Performansi Reaktor Downdraft dengan Masukan Udara Bertingkat*.
- Galindo, A. L., Lora, E. S., Andrade, R. V., Giraldo, S. Y., Jaén, R. L., & Cobas, V. M. (2014). Biomass gasification in a downdraft gasifier with a two-stage air supply: Effect of operating conditions on gas quality. *Biomass and Bioenergy*, 61, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.12.017>
- Guo, F., Dong, Y., Dong, L., & Guo, C. (2014). Effect of design and operating parameters on the gasification process of biomass in a downdraft fixed bed: An experimental study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(11), 5625–5633. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.01.130>
- Khonde, R., & Chaurasia, A. (2016). Rice husk gasification in a two-stage fixed-bed gasifier: Production of hydrogen rich syngas and kinetics. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(21), 8793–8802. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.138>
- Martínez, J. D., Silva Lora, E. E., Andrade, R. V., & Jaén, R. L. (2011). Experimental study on biomass gasification in a double air stage downdraft reactor. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3465–3480. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.049>
- Molino, A., Chianese, S., & Musmarra, D. (2016). Biomass gasification technology: The state of the art overview. *Journal of Energy Chemistry*, 25(1), 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2015.11.005>
- Nhuchhen, D. R., & Salam, P. A. (2012). Experimental study on two-stage air supply downdraft gasifier and dual fuel engine system. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2(2), 159–168. <https://doi.org/10.1007/s13399-012-0041-7>
- Putera, P. B., Hermawati, W., & Poerbosisworo, I. R. (2016). Kecenderungan Perkembangan Teknologi Gasifikasi Biomassa: Studi Perbandingan Di Beberapa Negara (The Trend of Technological Development of Biomass Gasification: A Comparative Study in Several Countries). *SSRN Electronic Journal*, 113–126. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2724343>
- Raman, P., Ram, N. K., & Gupta, R. (2013). A dual fired downdraft gasifier system to produce cleaner gas for power generation: Design, development and performance analysis. *Energy*, 54, 302–314. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.019>
- Suhendi, E., Paradise, G. U., & Priandana, I. (2017). Pengaruh Laju Alir Udara Dan Waktu Proses Gasifikasi Terhadap Gas Producer Limbah Tangkai Daun Tembakau Menggunakan Gasifier Tipe Downdraft. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(2), 45–53. <https://doi.org/10.15294/jbat.v5i2.6054>
- Šulc, J., Štojdl, J., Richter, M., Popelka, J., Svoboda, K., Smetana, J., Vacek, J., Skoblja, S., & Buryan, P. (2012). Biomass waste gasification - Can be the two stage process suitable for tar reduction and power generation? *Waste Management*, 32(4), 692–700. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.08.015>
- Suliono, S., Sudarmanta, B., Dionisius, F., & Maolana, I. (2017). Studi Karakteristik Reaktor Gasifikasi Type Downdraft Serbuk Kayu Dengan Variasi Equivalensi Ratio. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 3(2), 37–43. <https://doi.org/10.31884/jtt.v3i2.60>
- Surjosatyo, A., Vidian, F., Nugroho, Y. S., Indonesia, U., & Sriwijaya, U. (2010). *a Review on Gasifier Modification for Tar Reduction in Biomass Gasification*. 31, 62–77.