

PENGARUH JUMLAH ALIRAN UDARA TERHADAP NYALA API EFEKTIF DARI REAKTOR GASIFIKASI BIOMASSA TIPE *FIXED BED DOWNDRAFT* MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR TONGKOL JAGUNG

Romi Djafar¹⁾, Farid Darise²⁾

^{1,2} Program Studi Mesin dan Peralatan Pertanian, Politeknik Gorontalo

Email : romidjafar@polygon.ac.id¹⁾

ABSTRAK

Salah satu parameter penting dalam proses gasifikasi adalah perbandingan udara aktual terhadap jumlah bahan bakar disebut udara *Air Fuel Rasio* (AFR). Ketika AFR terlalu besar maka semakin memperkaya komposisi CO₂ dan H₂O karena pembakaran semakin mendekati pembakaran sempurna. Sedangkan apabila AFR terlalu kecil maka produk arang yang dihasilkan makin meningkat, jumlah produksi gas yang menjadi sedikit dan panas kalor dihasilkan juga makin rendah, hal ini dipengaruhi oleh jumlah udara yang disuplai yang minimum. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut bagaimana pengaruh suplai udara terhadap proses gasifikasi tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nyala api terbaik, nyala api efektif proses gasifikasi, jumlah konsumsi bahan bakar serta distribusi suhu sepanjang reaktor downdraft. Untuk mendapatkan hasil penelitian maka dilakukan tiga variasi kecepatan udara masing-masing 15m/s; 10m/s dan 5m/s menggunakan alat ukur anemometer digital melalui pengaturan bukaan katup yang terpasang pada pipa *nozzle*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nyala api terbaik diperoleh pada AFR 1.8 dengan Ekvivalen Rasio (ER) 0,25 yang didapatkan pada kecepatan udara 10m/s, dengan indikator nyala api yang kebiruan. Sedangkan laju konsumsi bahan bakar tertinggi diperoleh sebesar 1.7 kg/jam yang menghasilkan lama nyala api efektif 218 menit.

Kata Kunci: Reaktor, Biomassa, AFR, Nyala Api

ABSTRACT

One of the important parameters in the gasification process is the right air for fuel called Air Fuel Ratio (AFR). If the AFR is too large, it further enriches the composition of CO₂ and H₂O because combustion is getting nearer perfect. While the AFR is very small, the product increases, the amount of gas produced becomes less and the heat produced is also getting lower, this is done by the minimum amount of air supplied. Therefore, further research is needed on these components.

This study aims to find out what is done, effective process, measurement of fuel and downdraft distribution. To get the results of the study, several air variations can be carried out each 15m / s; 10m / s and 5m / s uses a digital anemometer measuring device through setting openings installed on the nozzle pipe.

The results showed that AFR 1.8 was obtained with Equivalent Ratio (ER) 0.25 obtained at an air velocity of 10m / s, with a bluish flame indicator. While the highest fuel consumption flow was obtained 1.7 kg/hour which resulted in an effective flame duration of 218 minutes.

Keywords: Reactor, Biomass, AFR, Flame

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Krisis energi yang berkelanjutan hingga saat ini, telah berdampak pada beberapa aspek misalnya semakin menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil sehingga telah berdampak pada kenaikan harga bahan bakar. Oleh karena itu, untuk meminimalisir masalah keterbatasan cadangan energi yang tidak dapat diperbaharui tersebut diperlukan usaha yang terarah dan terprogram untuk mencari energi alternatif. Salah satunya adalah mengembangkan teknologi gasifikasi biomassa untuk mengkonversi limbah pertanian menjadi energi berguna, ramah lingkungan dan sifatnya dapat diperbaharui.

Pengembangan teknologi gasifikasi telah dilakukan melalui berbagai aplikasi dan penelitian yaitu kajian performa integrasi sistem gasifikasi biomassa dengan industri baja yang efisien (Duleeka, dkk., 2015). Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan keseimbangan energi dengan material produksi pada bagian *furnance* baja yang berbahan bakar LPG yang akan diganti dengan syngas. Penelitian terhadap reaktor gasifikasi *downdraft* dengan konstruksi sederhana, kadar karbon yang tinggi, dan memiliki kadar abu yang rendah (Reed dan Das, 1998). Namun permasalahan terjadi yaitu partikel tar yang yang dihasilkan masih tinggi. Berdasarkan penelitiannya direkomendasikan bahwa perlu pengaturan parameter operasi reaktor agar diperoleh hasil gasifikasi yang optimal. Lebih

lanjut review sistem gasifikasi biomassa tipe *fixed downdraft* dengan *syngas* untuk aplikasi bahan bakar mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine (ICE)*). Hasil analisisnya menyimpulkan bahwa *syn-gas* dari proses gasifikasi menunjukkan nilai yang sangat baik. Dimana densitasnya yang rendah dilakukan dengan pengurangan kandungan tar melalui dua zona masukan udara serta *cleaning system*. Namun masalah yang sering terjadi yaitu tidak lancarnya masukan bahan bakar kedalam reaktor gasifikasi yang menyebabkan meningkatnya produksi tar.

Penelitian lainnya yaitu pengaruh suhu reaktor dan ukuran partikel terhadap karakterisasi gasifikasi biomassa tongkol jagung pada reaktor *downdraft* (Chopra dan Jain, 2007). Penelitian dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui kualitas dan kuantitas *syn-gas* yang dihasilkan dari reaktor gasifikasi *downdraft* dengan bahan bakar tongkol jagung. Dari hasil eksperimen disimpulkan bahwa produksi *syn-gas* pada proses gasifikasi dipengaruhi secara signifikan oleh suhu reaktor dan ukuran partikel biomassa. Suhu reaktor yang tinggi dan ukuran partikel biomassa yang kecil (Sudarmanta dan Kadarisman, 2010).

Selanjutnya kajian eksperimen terhadap *gasifier* biomassa tipe *downdraft* dari limbah kayu (Sheth dan Babu, 2009). Tujuan penelitian yaitu menentukan kondisi operasi *downdraft* biomassa berupa limbah kayu yang akan dibandingkan penelitian sebelumnya. Evaluasi kinerja *gasifier* melalui pengaturan parameter-parameter berupa *Equivalence Ratio* (ER), komposisi produser gas, nilai kalori rendah dari produser gas, zona laju produksi gas, zona temperatur dan efisiensi gas dingin yang dihasilkan. Hasil penelitian menyimpulkan perbandingan reaktor yaitu reaktor *updraft* sangat baik untuk bahan bakar dengan kandungan kadar air yang tinggi. Sedangkan reaktor *downdraft* hanya cocok maksimal kandungan *moisture* tidak lebih dari 40% basis kering. Pengaruh parameter operasi dan kualitas gas dari *gasifier* biomassa tipe *downdraft* dengan dua masukan suplai udara (Galindo, dkk., 2014). Tujuan penelitian adalah menentukan pengaruh berbagai *regimes* operasi dari *gasifier* dua tingkatan masukan udara, kandungan partikel tar dari produser gas, untuk menentukan titik operasi optimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan kriteria yang berkualitas. Metode penelitian dilakukan dengan cara memvariasikan kondisi operasi *gasifier* berupa aliran udara yaitu dua tingkatan rasio aliran udara. Penelitian lainnya yaitu kajian dan eksperimen pengaruh desain serta parameter kondisi operasi dari proses gasifikasi biomassa tipe *downdraft fixed bed* (Feiqiang, dkk., 2014). Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh desain dan kondisi operasi berupa geometri reaktor, ekivalen rasio, laju pemasukkan bahan bakar terhadap performa reaktor *downdraft*

dengan tiga tingkatan masukan udara tipe *fixed bed*. Sebagai kesimpulan penelitian bahwa untuk meningkatkan laju pemasukkan bahan bakar maka terjadi peningkatan temperatur dalam reaktor. Namun hal ini tidak terlalu memberi kontribusi yang signifikan karena terjadi pembentukan reaksi *cracking* pada saat proses gasifikasi yang dapat mengurangi kadar H₂ dan CO serta menghasilkan kandungan tar yang tinggi.

Beranjak dari beberapa referensi sebelumnya maka pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nyala api terbaik, nyala api efektif dari proses gasifikasi, jumlah konsumsi bahan bakar dan distribusi suhu sepanjang reaktor selama proses pengujian. Pengujian dilakukan melalui pengaturan parameter operasi berupa perbandingan udara dan bahan bakar atau memvariasikan *Air Fuel Rasio (AFR)* aktual masing-masing 1,6; 1,8; dan 1,1 menggunakan bahan bakar tongkol jagung.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Landasan Teori

Gasifikasi adalah proses kimia yang mengubah material karbon seperti biomassa menjadi bahan bakar gas yang mudah digunakan baik dalam skala rumah tangga, industri dan penggunaan lainnya. Dalam proses gasifikasi dapat terjadi karena adanya pemberian udara dalam jumlah yang terbatas untuk menghasilkan gas mampu bakar seperti CO, H₂, CH₄. Selanjutnya produk lainnya yang diperoleh dari proses gasifikasi yaitu kadar abu dan partikel tar.

Proses gasifikasi pada prinsipnya memiliki 4 tahapan yaitu proses pengeringan, pirolisis, oksidasi parsial dan proses reduksi yang semuanya terjadi secara alamiah pada saat proses pembakaran.

a. Proses Pengeringan (*drying*)

Akibat pengaruh panas biomassa mengalami pengeringan yang terjadi pada kisaran suhu sebesar 100-200°C. Proses ini merupakan pelepasan kandungan air dalam bentuk uap air. Namun tidak terjadi dekomposisi kimia pada biomassa.

b. Proses pirolisis terjadi pada suhu interval suhu 250-500°C. Akibat suhu yang sangat tinggi maka terjadi peretakan melekul-melekul besar dari biomassa menjadi melekul kecil. Hasil proses *pyrolysis* yaitu arang (karbon), uap air (H₂O), uap tar dan gas-gas lainnya. Selanjutnya arang tersebut akan mengalami oksidasi parsial.

c. Proses oksidasi parsial merupakan tahapan yang sangat penting dalam proses gasifikasi yaitu biomassa hasil pirolisis dibakar dengan udara untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan proses-proses lainnya. Proses oksidasi berlangsung diatas suhu 900°C untuk membantu perekehan partikel Tar lebih lanjut.

d. Proses reduksi terjadi pada kisaran suhu diatas 300°C yaitu arang bereaksi dengan uap air (H₂O) dan karbon dioksida (CO₂). Untuk

menghasilkan hidrogen dan karbon monoksida sebagai komponen utama gas proses gasifikasi.

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini difokuskan pada parameter operasi yaitu rasio Ekuivalen Rasio (ER). Mendapatkan nilai ER maka terlebih dahulu mengetahui rasio udara dan bahan bakar (AFR) aktual dengan AFR stoikiometri. Nilai AFR aktual didapatkan dari perbandingan massa udara dan massa bahan bakar yang dibutuhkan dapat ditulis dengan persamaan:

$$AFR_{aktual} = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bb}} \dots\dots\dots 1$$

Sedangkan AFR stoikiometri dihitung berdasar arkan data analisis *proximate* dan *ultimate* bahan bakar tongkol jagung.

Tabel 1. Hasil *Proximate* dan *Ultimate* Tongkol Jagung.

No	Parameter	Unit	Nilai
1	Moisture Content	% wt	10,15
2	Ash Content	% wt	1,80
3	Volatile Matter	% wt	87,90
4	Fixed Carbon	% wt	0,15
5	Density	Kg/m3	296
6	LHV	MJ/kg	10,85
7	Komponen	C	47,60
		H	5,91
		N	0,84
		S	0,15
		O	38,70

Sumber (Sudarmanta dan Kadarisman, 2010)

Berdasarkan data analisis *ultimate* maka dapat dihitung perbandingan udara dan bahan bakar dinyatakan dalam kg udara per kg bahan bakar atau kg mol udara per kg mol bahan bakar. Pada proses pembakaran sempurna, maka unsur-unsur kimia batubara berupa C, H₂ dan S bereaksi dengan O₂, sedangkan N₂ tidak bereaksi dengan O₂. Sehingga hasil reaksi kimia stoikiometri sebagai berikut.

Reaksi kimia pembakaran menggunakan cara yang sama pada basis 1 kg batubara yang digunakan pada pemodelan sebagai berikut.

a. 0,4760 kg karbon (C) butuh oksigen (O₂):

$$O_2 \rightarrow 0,760 \times 32 / 12 = 1,26$$

$$product \rightarrow 0,4760 \times 44 / 12 = 1,74$$

b. 0,0591kg Hidrogen (H) butuh oksigen (O₂):

$$O_2 \rightarrow 0,0591 \times 16 / 2 = 0,472$$

$$product \rightarrow 0,0951 \times 18 / 2 = 0,53$$

c. 0,0015 kg Sulfur (S) memerlukan oksigen (O₂)

$$O_2 \rightarrow 0,0015 \times 32 / 32 = 0,0015$$

$$product \rightarrow 0,0019 \times 64 / 32 = 0,003$$

Total oksigen (O₂ total) yang dibutuhkan untuk membakar 1 kg batubara secara sempurna yaitu 1,26 + 0,472 + 0,003 = 1,7 kg

Oleh karena itu, secara teoritis udara yang dibutuhkan oleh pembakaran sempurna sebagai berikut.

$$1,7 / 0,233 = 7.2 \text{ kg/kg tongkol jagung.}$$

Catatan: nilai 0233 konstanta fraksi massa oksigen dalam udara kering.

Dengan Demikian ekuivalen rasio dengan dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$ER = \frac{(\dot{m}_{udara} / \dot{m}_{bb(ar)})_{aktual}}{(\dot{m}_{udara} / \dot{m}_{bb(ar)})_{Stoich}} = \frac{AFR_{aktual}}{AFR_{Stoich}} \dots 2$$

AFR= 1.6	AFR= 1.8	AFR= 1.1
----------	----------	----------

2.2. Skema Pengujian

Penelitian ini dilakukan menggunakan reaktor gasifikasi biomassa tipe *downdraft* dengan dua laluan udara. Reaktor gasifikasi terbuat dari pelat galvanis *steel* dengan ketebalan 2mm. Sedangkan tinggi reaktor sebesar 115 cm dengan diameter 50cm. Pada bagian tengah reaktor dibuat penyempitan diameter yaitu *throat* reaktor dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 20 cm. didalam reaktor dipasang *Glasswall* untuk mereduksi energi panas yang keluar. Selanjutnya di dalam reaktor dipasang sensor suhu yaitu termokopel tipe K sebanyak 5 titik dipasang sepanjang ketinggian reaktor T1 zona *drying*, T2, T3, zona pirolisis, T4 zona oksidasi, dan T5 zona eduksi. Skema reaktor gasifikasi ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Reaktor Gasifikasi Tipe *Downdraft*.

Reaktor gasifikasi biomassa yang terdapat pada Gambar 1 merupakan reaktor tipe *downdraft* yang dilengkapi dengan kelengkapan gas *cleaning* berupa *cyclone*, *water scrubber*, *blower* dorong, *blower* sentrifugal dan kontrol suhu (PID Control).

2.3. Prosedur Eksperimen

Proses pengujian dapat berlangsung dengan baik dengan memperhatikan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan biomassa berupa tongkol jagung sebagai bahan bakar berdasarkan pengukuran menggunakan *moisture meter* sebesar 12%.

2. Pemeriksaan kondisi reaktor mulai dari kebersihannya, pengecekan bagian kelengkapan reaktor dipastikan dapat berfungsi dengan baik.
3. Masukkan bahan bakar tongkol jagung sampai batas *nozzle* selanjutnya dilakukan penyalaan awal dibantu dengan kertas yang dicelupkan pada solar untuk mempermudah *start-up*.
4. Kemudian atur kecepatan udara yang disulai oleh *blower* dengan mengatur katup yang terpasang dipipa/*nozzle* diluar reaktor sesuai ukuran bukaan katup dibutuhkan.
5. Apabila api sudah menyala dengan temperatur diatas 500°C selanjutnya reaktor di isi *full* (5kg/*batch*) kemudian *hopper inlet* ditutup rapat.
6. Mulai pengambilan data setelah kondisi steady atau kurang lebih 15 menit proses penyalaan api dilakukan.
7. Rentang waktu pengambilan data setiap 5 menit setelah kondisi steady yaitu mulai terjadi nyala api gas mampu bakar sampai dengan nyala api akan padam tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian reaktor gasifikasi biomassa menggunakan bahan bakar tongkol yang memiliki kadar air sebesar 12%. Pengujian dilaksanakan sebanyak tiga kali masing-masing jumlah bahan bakar 5 kg untuk tiap *batch* pengujian. Berdasarkan pengujian terlebih dahulu menentukan laju suplai udara menggunakan *anomometer* masing-masing 15m/s; 10m/s dan 5m/s. Agar didapatkan jumlah volumetrik udara maka kecepatan udara harus dikonversi dengan mengalikan kecepatan udara tersebut dengan luasan area dari pipa yang digunakan. Dengan demikian, nilai massa udara dapat digunakan untuk menghitung *Air fuel ratio* (AFR) aktual. Sehingga dapat ditentukan Ekuivalen Rasio (ER) dari masing-masing pengujian. Adapun variasi kecepatan udara masing-masing pengujian ditunjukkan pada Tabel 1. Sebagai berikut:

Tabel 2 Variasi Kecepatan Udara

No Uji	Kec. Udara (m/s)	Luasan Area Pipa (m)	Volume Udara (m ³)	Massa udara (kg/jam)
1	15	0.15	2.3	2.76
2	10	0.15	1.59	1.90
3	5	0.15	0.79	0.94

Tabel 2 Menunjukkan variasi kecepatan udara yang digunakan pada proses penelitian. Untuk mendapatkan massa bahan bakar diperoleh dengan mengalikan volume udara dengan massa jenis udara tersebut. Hasil konversi pada Tabel 2 dapat digunakan menghitung perbandingan *Air Fuel Ratio* (AFR) aktual dengan massa bahan bakar yang digunakan setiap proses penelitian. Tabel 3 menunjukkan hasil analisis AFR aktual sebagai berikut.

Tabel 3. *Air Fuel Ratio* (AFR) Aktual

No Uji	Jlh bb (Kg/Jam)	m udara (Kg/Jam)	AFR aktual
1	1.7	2.76	1.6
2	1.07	1.9	1.8
3	0.83	0.94	1.1

Nilai AFR aktual yang ditunjukkan pada Tabel 3 merupakan perbandingan massa udara terhadap bahan bakar yang digunakan. Adapun bahan bakar yang digunakan setiap pengujian adalah sebanyak 5 Kg dengan proses gasifikasi berlangsung lebih dari 3 jam sehingga rata-rata laju konsumsi bahan bakar berturut-turut 1,7; 1,07 dan 0,83 Kg/Jam. Berdasarkan tiga variasi AFR aktual maka hasil visualisasi nyala api proses gasifikasi ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Visualisasi Nyala Api Gasifikasi

Secara teoritis, untuk reaksi gasifikasi, konsep yang biasa dilakukan adalah memberikan fraksi udara stoikiometrik sebesar 1.5 m³, dimana gasifikasi optimum didapatkan pada ER 0.25. Hasil penelitian yang dilakukan sudah sesuai dengan teori tersebut, dimana gasifikasi optimum didapatkan pada kecepatan udara 10 m/s, dengan volume udara 1.59 m³ dan ER 0.25. Apabila nilai ER meningkat maka terjadi peningkatan suhu akibat peningkatan fraksi H₂ sehingga menyebabkan produksi tar menurun. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Feiqiang, dkk., 2014) bahwa dengan meningkatkan nilai ER akan menurunkan jumlah partikel tar. Itulah sebabnya nyala api pada kecepatan udara 15 m/s secara visual menjadi berwarna kemerah-merahan akibat kelebihan suplai udara. Pada saat nyala api berwarna kemerah-merahan maka mengindikasikan nyala api tersebut memiliki nilai kalor yang rendah. Hal ini dapat terjadi karena kekurangan udara saat mencampuri proses pembakaran atau campuran kaya. Sedangkan warna api yang kebiruan mengindikasikan nyala api dengan nilai kalor yang tinggi atau campuran miskin.

3.1. Analisis Ekuivalen Rasio (ER)

Rasio Ekuivalen (ER) merupakan parameter penting operasi dari gasifier (Raman, dkk., 2013). Nilai ER akan berpengaruh pada kuantitas dan kualitas gas yang dihasilkan. Pada proses gasifikasi diperlukan jumlah udara dalam jumlah yang terbatas. Nilai ER yang terlalu tinggi dan rendah

akan menimbulkan beberapa persoalan. Jika nilai ER yang terlalu kecil maka mengakibatkan bertambahnya produk *char*, produksi gas mampu bakar yang kecil serta panas kalor yang rendah. Sebaliknya nilai ER yang tinggi akan meningkatkan gas CO₂ dan H₂O akibat kelebihan suplai udara sehingga proses pembakaran mendekati pembakaran sempurna (Atnawa, dkk., 2013). Berdasarkan hasil analisis Tabel 4. Menunjukkan Ekvivalen Rasio sebagai berikut.

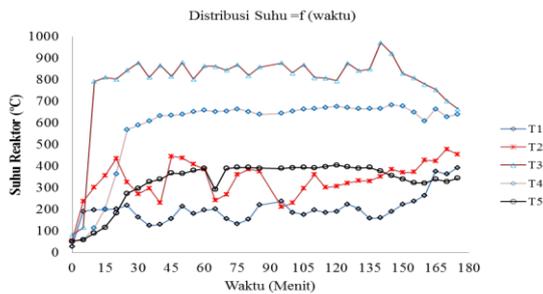
Tabel 4. Hasil Analisis Ekvivalen Rasio (ER)

No	AFR Aktual	AFR Stoich	ER
1	1.6	7.22	0.22
2	1.8	7.22	0.25
3	1.1	7.22	0.15

Berdasarkan data hasil analisis pada Tabel 4 diketahui bahwa nilai ER tertinggi pada proses pengujian pertama yaitu 0.25 sedangkan ER terendah sebesar 0.15. Perubahan kenaikan nilai ER sebesar 12.5% atau kecepatan udara blower 10 m/s di dapatkan ER 0.25 dengan visualisasi nyala api terbaik pada penelitian ini. Sedangkan AFR aktual semakin kecil menyebabkan nilai ER juga semakin kecil sehingga dihasilkan produksi syngas semakin sedikit.

3.2. Distribusi Suhu Proses Gasifikasi

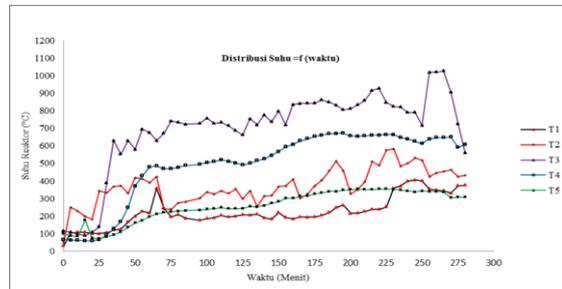
Selama proses pengujian reaktor maka distribusi suhu diketahui melalui sensor termokopel tipe-K yang representasi suhunya ditunjukkan oleh PID control. Gambar 3.2 menunjukkan distribusi suhu pada proses pengujian sebagai berikut.



Gambar 3.2 Distribusi Suhu Pada ER 0.22

Grafik pada Gambar 3.2 merupakan distribusi suhu pada ER sebesar 0.25 yang menunjukkan tren *line* yang berfluktuatif. Pengambilan data pada interval waktu setiap 5 menit dimulai dari kondisi steady sampai nyala api gas mampu bakar padam. Adapun distribusi suhu sepanjang reaktor untuk masing-masing tahapan proses gasifikasi yaitu terkopel 1 (T1) adalah zona *drying* dengan interval suhu 100-200°C. Pada Zona ini terjadi pelepasan uap air dari bahan bakar. Untuk terkopel 2 (T2) merupakan zona pirolisis dengan batas suhu diatas 300°C. Sedangkan termokopel 3 (T3) adalah zona oksidasi parsial pada interval suhu

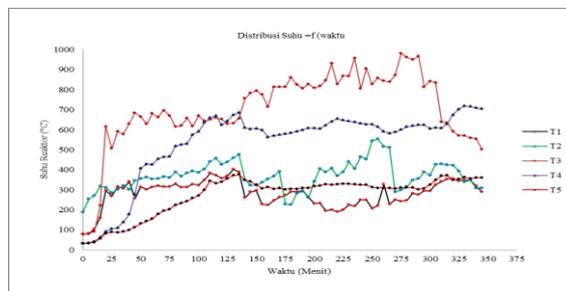
diatas 800-1000°C dimana proses ini merupakan tahapan paling penting untuk proses lainnya. Kemudian paling terakhir adalah termokopel 4 (T4) zona reduksi dengan interval suhu 400°C-600°C. Berdasarkan distribusi suhu dapat disimpulkan bahwa suhu tertinggi yang dapat dicapai adalah 973°C. Selanjutnya hasil pengujian kedua dapat diketahui dari Gambar 3.3



Gambar 3.3 Distribusi Suhu Pada ER 0.25

Hasil distribusi suhu pada Gambar 3.3 merupakan pengujian yang kedua dengan jumlah bahan bakar yang sama yaitu 5 kg. Tren suhu yang dihasilkan pada pengujian ini lebih teratur dibandingkan dengan pengujian pertama. Perubahan distribusi suhu terjadi kenaikan yang signifikan pada termokopel 3 (T3) dengan menit 35 yaitu secara perlahan mencapai sampai 928°C hingga 1021°C tertinggi. Pada proses pengujian dapat ditentukan nilai ER yang digunakan yaitu sebesar 0.25 atau dengan *air fuel rasio* (AFR) aktual 1.8. Hasil visualisasi api yang dihasilkan terdapat kesesuaian perbandingan antara udara dan bakar yang bercampur dengan baik pada proses pembakaran tersebut. Sehingga gas mampu bakar yang dihasilkan lebih berkualitas yang direpresentasikan dengan warna nyala api biruan. Ketika nyala api berwarna kebiruan maka terjadi pembakaran sempurna yang indikasikan *heating value* juga bernilai besar.

Kemudian pengujian yang terakhir adalah dengan AFR aktual 1.1 kg/kg tongkol jagung. Distribusi suhu dari pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Distribusi Suhu Pada ER 0.15

Berdasarkan tren grafik pada Gambar 3.4 mengindikasikan distribusi suhu yang kembali

berfluktuatif signifikan untuk seluruh zona tahapan proses gasifikasi. Sesuai prinsip pembakaran maka hal ini dapat dikatakan terjadi campuran kaya yaitu suplai udara yang di injeksikan ke ruang bakar dalam kondisi minimum. Akibatnya proses start up membutuhkan waktu yang lama. Hal ini dapat diketahui dari hubungan nyala api terhadap lamanya proses gasifikasi dalam Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Perbandingan ER terhadap Nyala Efektif.

No Uji	AFR aktual	Waktu nyala Api	Nyala Api Padam	Nyala Api Efektif
1	1.6	18 "	235"	218 Menit
2	1.8	42"	245"	204 Menit
3	1.1	55"	255"	205 Menit

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5 merupakan hubungan AFR aktual terhadap nyala api efektif yang dihasilkan. Pada AFR 1.6 waktu start up terjadi dalam waktu yang singkat yaitu pada menit 18 sudah terjadi nyala api gasifikasi dan padam padam menit 235 sehingga nyala api efektif diperoleh 218 menit. Namun jika dilihat dari kuantitas dan kualitas dari gas mampu bakar yang dihasilkan, mengindikasikan nilai kalor panas yang rendah (Gambar 3.1). Sebaliknya ketika AFR ditingkatkan menjadi 1.8 atau naik sebesar 12% maka pengaruhnya terhadap start-up menjadi relatif lama yaitu menit 42 terjadi nyala api dan dihasilkan nyala efektif 204 menit untuk 5 kg bahan bakar. Sementara AFR 1.1 Perubahan lama start-up, nyala api padam dan nyala api efektif tidak terlalu jauh dari pengujian kedua. Berdasarkan visualisasi nyala api (Gambar 3.1) terlihat warna api lebih bersih, namun dalam jumlah yang lebih kecil. Untuk mengetahui durasi waktu gasifikasi berdasarkan jumlah bahan bakar terdapat pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6 Jumlah Bahan Bakar Terhadap Lama Waktu Gasifikasi.

No Uji	AFR Aktual	Bahan Bakar	Waktu Gasifikasi
1	1.6	5 Kg	175 Menit
2	1.8	5 Kg	280 Menit
3	1.1	5 Kg	361 Menit

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan lama proses gasifikasi yang variatif. Adapun hasil pengujian dengan AFR 1.6 atau dengan suplai kecepatan udara yang disuplai ke dalam reaktor 15 m/s terhadap jumlah 5 kg bahan bakar tongkol jagung diperoleh total lamanya proses gasifikasi adalah 175 menit. Sedangkan pada saat AFR ditingkatkan menjadi 1.8 maka di dapatkan durasi waktu gasifikasi sebesar 280 menit. Selanjutnya jika AFR dalam kondisi minimum maka didapatkan total proses gasifikasi 361 menit.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Laju aliran udara yang digunakan pada penelitian ini adalah 15m/s; 10m/s dan 5m/s. dengan hasil perhitungan diperoleh *Air Fuel Ratio* (AFR) aktual berturut-turut 1,6; 1,8 dan 1,1.
2. Hasil analisis didapatkan Ekvivalen Rasio (ER) dari setiap pengujian adalah 0,22; 0,25 dan 0,15.
3. Hasil nyala api terbaik diperoleh pada AFR aktual 1.8 dengan Ekvivalen Rasio 0,25 pada kecepatan udara 10m/s.
4. Semakin besar suplai udara ke ruang reaktor maka diperoleh nyala api yang kemerahan. Sebaliknya jika kecepatan udara semakin rendah atau jumlah udara dalam kondisi minimum warna api gas mampu bakar makin jernih namun dalam jumlah yang sedikit.
5. Berdasarkan nyala api efektif diperoleh durasi waktu terbaik sebesar 218 menit pada AFR 1.6 dengan laju konsumsi bahan bakar 1.7 kg/jam
6. Direkomendasikan kedepannya bahwa penelitian ini dapat dilanjutkan dengan analisis dan pengukuran unsur-unsur gas dari proses gasifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Atnawa, S.M., Sulaiman, S.A., & Yusup, S. (2013). Syngas production from downdraft gasification of oil palm fronds, *Elsevier Energy*, 61, 491-501
- Chopra, S., & Jain, A.K. (2007). A Review Of fixed Bed Gasification System for Biomassa. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* 9(5)
- Galindo, A.L., Lora, E.S., Andrade, R.V., Giraldo, S.Y., Jae, R.L., & Cobas, V.M. (2014). Biomass gasification in a downdraft gasifier with atwo-stage air supply: Effect of operating conditions on gas quality. *Biomass and Bioenergy*, 6, 236-244.
- Gunarathne, D.S, Mellin, P., Yang, W., Pettersson, M., & Ljunggren, R. (2016). Performance of an effectively integrated biomass multi-stage gasification system and a steel industry heat treatment furnace. *Elsevier. Energy*, 170, 353–361.
- 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. *Elsevier. international journal of hydrogen energy*, 39, 5625-5633.
- 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.
India
- Reed, T.B., & Das, A. (1988). Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Golden, CO: Solar Energy Research Institute SERISP-271-3022 DE88001135
- Sheth, P.N., & Babu, B.V. (2009). Experimental studies on producer gas generation from wood waste in downdraft biomass gasifier. *Bioresource Technology*, 100, 3127-3133
- Sudarmanta, B., & Kadarisman. (2010). Pengaruh Suhu Reaktor dan Ukuran Partikel Terhadap Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Tongkol Jagung Pada Reaktor Downdraft. Seminar Nasional Pascasarjana X – ITS