



**ANALISIS KARAKTERISTIK THERMAL API SYN-GAS PADA
GASIFIKASI BIOMASSA TIPE *DOWNDRAFT*
DENGAN OKSIDATOR OKSIGEN**

SKRIPSI

Oleh

Sanditya Ramadhan

NIM 121910101104

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016



**ANALISIS KARAKTERISTIK THERMAL API SYN-GAS PADA
GASIFIKASI BIOMASSA TYPE *DOWNDRAFT*
DENGAN OKSIDATOR OKSIGEN**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Sanditya Ramadhan

NIM 121910101104

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puja, puji syukur kepada Allah SWT dan dengan tulus ikhlas serta segala kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Keluargaku, Ayahanda tercinta Sumargono dan Ibunda tercinta Azizah Fitriani yang tak henti-hentinya memberikan kasih sayang, memanjatkan do'a dan memberikan dukungan dari segi moril maupun materil.
2. Adik Safira Ayunisadan teman dekat Firdha Ulfa Tresnawati, yang selalu menjadi penyemangat dalam hidup saya.
3. Segenap staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada saya. Terutama Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku dosen penguji II
4. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yang demikian itu
sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusuk”

(Terjemahan Al-Qur'an Surat Al-Baqarah ayat 45)

“Siapa kamu, Dimana kamu, dan Bagaimana kamu”

(Mega Dwiantari)

“Sukses = Sempat + Siap.

(Martha A. Afrianto)

“Jadi apa kamu di masa depan, ialah apa yang sedang kamu perjuangkan sekarang”

(Yusufi Hanny P.)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Sanditya Ramadhan**

NIM : **121910101104**

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Efisiensi Termal Proses Gasifikasi Sistem Downdraft Satu Saluran Udara Masuk Dengan Menggunakan Bahan Baku Sekam Padi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Desember 2016

Yang menyatakan,



Sanditya Ramadhan

NIM. 121910101104

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK THERMAL API SYN-GAS PADA
GASIFIKASI BIOMASSA TIPE *DOWNDRAFT*
DENGAN OKSIDATOR OKSIGEN**

Oleh
Sanditya Ramadhan
121910101104

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Hari Arbiantara, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Efisiensi Termal Proses Gasifikasi Sistem Downdraft Satu Saluran Udara Masuk Dengan Menggunakan Bahan Baku Sekam Padi” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Sabtu, 31 Desember 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP. 1971111114 1999 03 1 002

Hari Arbiantara, S.T., M.T.
NIP. 19670924 199412 1 001

Anggota I,

Anggota II

Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.
NIP. 19850117 201212 1 001

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP. 19680617 199501 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Drs. Entin Hidayah, M. U. M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

ANALISIS KARAKTERISTIK THERMAL API SYN-GAS PADA GASIFIKASI BIOMASSA TIPE *DOWNDRAFT* DENGAN OKSIDATOR OKSIGEN; Sanditya Ramadhan, 121910101104; 2016; 81 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Indonesia merupakan negara agraris yang menghasilkan banyak hasil pertanian, salah satunya adalah jagung. Di Indonesia program untuk pengembangan energi terbarukan dilakukan dengan berbagai pemanfaatan. Salah satunya adalah pemanfaatan biomassa dari limbah pertanian dimanfaatkan lagi sebagai bahan bakar. Sifat biomassa sangat menguntungkan karena merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan secara lestari. Gasifikasi menjadi sebuah metode yang paling tepat untuk mengonversi bahan baku biomassa menjadi sebuah bahan bakar gas yang dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Metode Penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Dengan alat ukur dan alat uji yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian adalah termokopel, kamera hp, anemometer.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan masuk suplai oksigen sebesar 3,82 kg/jam, 6,01 kg/jam, 8,73 kg/jam dan 12,01 kg/jam. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah dari warna nyala api, tinggi nyala api, temperatur api, dan kalor yang mampu diserap air. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dari hasil penelitian diperoleh data hasil Temperatur titik horizontal (T1,T2,T3) mengalami penurunan dibandingkan titik vertikal (T3,T4,T5) yang terus mengalami peningkatan sampai titik puncaknya. Untuk rata-rata pada titik horizontal yaitu 522,9°C pada variasi 3,28 kg/jam selanjutnya mempunyai nilai temperatur 541,1°C pada suplai udara 6,01 kg/jam yang merupakan titik tertinggi pada bagian horizontal. Nyala api tertinggi pada suplai 12,01 kg/jam dan nyala api terendah pada suplai 3,82 kg/jam.

Dikarenakan semakin besar aliran oksigen semakin banyak pula *flammable gas* yang keluar dan mengakibatkan api yang menyala menjadi semakin tinggi

Semakin besar variasi suplai oksigen yang diberikan mengakibatkan semakin menurunnya jumlah *Syn-gas* yang dihasilkan. Dikarenakan proses pembakaran yang terjadi semakin cepat dan semakin sedikit *flammable gas* yang dihasilkan maka semakin merah warna yang dikeluarkan api.. Visualisasi api terbaik terjadi pada variasi suplai oksigen 3,82 kg/jam dengan warna biru rata- rata 42%.

Suplai oksigen yang semakin tinggi akan memberikan api dengan temperatur yang tinggi pula tetapi akan semakin cepat menghabiskan jumlah *syn-gas* yang diproduksi. Akibatnya kalor yang mampu diserap air tidak dapat maksimal karena api yang dihasilkan semakin cepat padam. Hal ini menjadikan kalor yang dapat diserap air pada variasi suplai oksigen pada 12,01 kg/jam adalah yang paling kecil yaitu sebesar 30,34 KJ.





PRAKATA

Segala puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Karakteristik Thermal Api *Syn-gas* Pada Gasifikasi Biomassa Tipe Downdraft Dengan Oksidator Oksigen. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah tercinta Bapak Sumargono dan Ibu tercinta Azizah Fitriani yang selalu tiada henti dan tiada lelah mendidik dan menasehati serta membantu dengan do'a, kekuatan, dukungan semangat moril dan materilnya. Adik tersayang Safira Ayunisa yang tak henti-hentinya memberi inspirasi dan menyemangati.
2. Dr. Nasrul Iminafik, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
3. Bapak Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T. selaku dosen penguji I, dan Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran selama duduk di bangku perkuliahan.
6. Satu tim skripsi gasifikasi (Imron Rosadi) yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi.
8. Kepada seluruh Teknik Mesin angkatan 2012 yang sudah bersedia membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini. Terimakasih atas semua kontribusi yang kalian berikan;

9. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.

Penulis menyadari sebagai manusia yang tak lepas dari kekhilafan dan kekurangan. Oleh karena itu, Penulis menerima segala kritik, saran dan ide yang bersifat konstruktif dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 31 Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Biomassa	4
2.1.1 Sumber Biomassa	4
2.1.2 Biomassa Tongkol Jagung	5
2.2 Gasifikasi	6
2.2.1 Tipe <i>Gasifier</i>	6
2.2.2 Proses Gasifikasi	8
2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Gasifikasi	10
2.3 <i>Synthetic Gas (syn-gas)</i>	13
2.4 Karakteristik Api	14
2.4.1 Api Merah	16
2.4.2 Api Biru	17
2.4.3 Api Putih	17
2.4.4 Api Hitam	17
2.5 AFR (<i>Air-Fuel Ratio</i>)	18
2.6 Nilai Kalor	19
2.7 Hipotesa	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21

3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3.1 Alat	21
3.3.2 Bahan	25
3.4 Variabel Penelitian	26
3.4.1 Variabel Bebas	26
3.4.2 Variabel Terikat	26
3.5 Prosedur Penelitian	26
3.6 Penyajian Data Penelitian	26
3.7 Skema Alat Uji	34
3.8 Diagram Alir Penelitian	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Data dan Hasil Pengujian	38
4.1.1 Data Distribusi Temperatur Api	38
4.1.2 Data Tinggi Nyala Api	41
4.1.3 Data Warna Nyala Api	43
4.1.4 Data Kalor yang Mampu diserap Air	45
4.2 Analisa dan Pembahasan	47
4.2.1 Analisa Distribusi Temperatur Api	47
4.2.2 Analisa Tinggi Nyala Api	51
4.2.3 Analisa Warna Api <i>Syn-gas</i>	52
4.2.4 Analisa Kalor yang Mampu diserap Air	57
BAB 5 KESIMPULAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Tipe Gasifikasi (<i>Updraft, Downdraft, Crossdraft</i>).....	7
Gambar 2.2 Diagram C-H-O	11
Gambar 2.3 Arus <i>Laminer</i> vs Arus <i>Turbulent</i>	16
Gambar 2.4 Nyala Api Merah	16
Gambar 2.5 Nyala Api Biru	17
Gambar 2.6 Nyala Api Putih Untuk Proses Produksi Industri	17
Gambar 2.7 Nyala Api <i>Bunsen Burner</i>	18
Gambar 3.1 <i>Downdraft Gasifier</i>	21
Gambar 3.2 Kabel Termokopel Tipe-K	22
Gambar 3.3 <i>Thermoreader</i>	23
Gambar 3.4 <i>Anemometer</i>	23
Gambar 3.5 Canon EOS 600D	16
Gambar 3.6 Blower	25
Gambar 3.7 <i>Bunsen Burner</i>	26
Gambar 3.8 Skema Alat Uji	35
Gambar 3.9 Skema Pengukuran Temperatur Api dan Pengambilan Gambar Api.....	36
Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian Karakteristik <i>Syn-gas</i>	37
Gambar 4.1 Pengukuran Temperatur Api Pada Tiap Titik	38
Gambar 4.2 Grafik Distribusi Temperatur T1	47
Gambar 4.3 Grafik Distribusi Temperatur T2	48
Gambar 4.4 Grafik Distribusi Temperatur T3	49
Gambar 4.5 Grafik Distribusi Temperatur T4	49
Gambar 4.6 Grafik Distribusi Temperatur T5	50
Gambar 4.7 Perbandingan Temperatur Api Horizontal dan Vertikal Terhadap Variasi Suplai Oksigen.....	50
Gambar 4.8 Grafik Tinggi Nyala Api	51

Gambar 4.9 Tinggi Api Terhadap Variasi Suplai Oksigen	52
Gambar 4.10 Persentase Warna Api Merah	53
Gambar 4.11 Persentase Warna Api Biru.....	54
Gambar 4.12 Persentase Warna Merah dan Biru Terhadap Variasi Suplai Oksigen	55
Gambar 4.13 Visualisasi Nyala Api Pada Suplai Oksigen 3,82 kg/jam	55
Gambar 4.14 Visualisasi Nyala Api Pada Suplai Oksigen 6,01 kg/jam.....	56
Gambar 4.15 Visualisasi Nyala Api Pada Suplai Oksigen 7,38 kg/jam.....	56
Gambar 4.16 Visualisasi Nyala Api Pada Suplai Oksigen 12,01 kg/jam....	56
Gambar 4.17 Grafik Kalor yang diserap Air	57
Gambar 4.18 Grafik Kalor yang diserap Air Terhadap Variasi Suplai Oksigen	58

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Potensi Jagung di Kabupaten Jember	5
Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Tongkol Jagung	6
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Gasifikasi Tipe <i>Downdraft</i>	8
Tabel 2.4 Produk Gasifikasi Dengan Berbagai <i>Gasifying Agent</i>	12
Tabel 3.1 Spesifikasi Kabel Termokopel Tipe-K.....	22
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Anemometer</i>	24
Tabel 3.3 Spesifikasi Kamera.....	25
Tabel 4.1 Data Hasil Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 3,28 kg/jam.....	39
Tabel 4.2 Data Hasil Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 6,01 kg/jam.....	40
Tabel 4.3 Data Hasil Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 8,73 kg/jam.....	40
Tabel 4.4 Data Hasil Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 12,01 kg/jam.....	41
Tabel 4.5 Data Hasil Tinggi Api Pada Visualisasi Suplai Oksigen 3,28 kg/jam.....	41
Tabel 4.6 Data Hasil Tinggi Api Pada Visualisasi Suplai Oksigen 6,01 kg/jam.....	42
Tabel 4.7 Data Hasil Tinggi Api Pada Visualisasi Suplai Oksigen 8,73 kg/jam.....	42
Tabel 4.8 Data Hasil Tinggi Api Pada Visualisasi Suplai Oksigen 12,01 kg/jam.....	43
Tabel 4.9 Data Persentase Warna Api Pada Variasi Suplai Oksigen 3,28 kg/jam.....	43
Tabel 4.10 Data Persentase Warna Api Pada Variasi Suplai Oksigen 6,01 kg/jam.....	44

Tabel 4.11 Data Persentase Warna Api Pada Variasi Suplai Oksigen 8,73 kg/jam.....	44
Tabel 4.12 Data Persentase Warna Api Pada Variasi Suplai Oksigen 12,01 kg/jam.....	45
Tabel 4.13 Data Kalor yang Mampu diserap Air Pada Variasi Suplai Oksigen 3,28 kg/jam	45
Tabel 4.14 Data Kalor yang Mampu diserap Air Pada Variasi Suplai Oksigen 6,01 kg/jam	46
Tabel 4.15 Data Kalor yang Mampu diserap Air Pada Variasi Suplai Oksigen 8,73 kg/jam	46
Tabel 4.16 Data Kalor yang Mampu diserap Air Pada Variasi Suplai Oksigen 12,01 kg/jam	47

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Seluruh negara memperhatikan krisis energi di seluruh dunia yang melanda saat ini. Perekonomian berkembang pesat dan tajam menjadikan kebutuhan energi yang lebih tinggi. Negara- negara penghasil minyak bumi yang ada hingga sekarang bahkan negara lain yang baru menemukan sumber minyak masih diperkirakan belum cukup memenuhi kebutuhan energi untuk masa depan. Oleh karena itu perlu dikembangkan energi terbarukan untuk menjadi sumber energi alternatif atau bahkan menjadi energi utama untuk masa depan.

Indonesia mengembangkan energi terbarukan yang berasal dari biomassa untuk dijadikan teknologi gasifikasi. Teknologi gasifikasi sendiri adalah teknologi yang mengkonversikan bahan bakar padat/cair (mengandung karbon) menjadi *flammable* gas. Biomassa yang digunakan berasal dari limbah pertanian karena Indonesia sendiri dikenal dengan negara agraris yang menghasilkan banyak hasil pertanian yang salah satunya yaitu jagung. Indonesia memposisikan urutan ke-8 penghasil jagung terbesar di dunia yang menghasilkan limbah jagung berupa tongkol jagung. Tongkol jagung tersebut lalu dikonversikan menjadi *syn-gas* pada proses gasifikasi ini karena mempunyai kandungan karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂) dan hidrogen (H₂). Limbah tongkol jagung sebanyak 1 ton per hektar atau sebanyak 4 juta ton limbah tongkol jagung (Statistik Pertanian, Departmen Pertanian RI, 2014) dirasa cukup untuk menyongkong sumber energi terbarukan untuk masa depan.

Udara yang dibutuhkan pada proses gasifikasi berada di antara proses *pyrolysis* dan *combution*, oleh karena itu pada proses gasifikasi biomassa rasio yang tepat berkisar angka 1,25-1,5. Biomassa tongkol jagung juga

mempunyai nilai kalor sebesar 10851 kJ/kg yang menghasilkan api *syn-gas* rata-rata 503,433 °C dengan udara sebagai *gasifying agent* nya (Putri, 2009). Sedangkan distribusi suhu di dalam *gasifier* bekisar antara 450-600°C selama 10 menit pada *steady state* dengan variasi kecepatan aliran udara 32,0444 kg/s; 37,4718 kg/s; dan 39,7684 kg/s.(Arisanty, 2009)

Pada variasi AFR = 1,31 dalam penelitian gasifikasi berbahan serabut kelapa mempunyai nilai *LHV* (*Lower Heating Value*) yang tinggi, hal ini menunjukkan bahwa kandungan *flammable gas* yang dimiliki oleh *syn-gas* masih memberikan profil api yang berwarna biru karena adanya komposisi yang besar dari CO, H₂, CH₄, dan C₂H₆ (Hadi, 2013). Sebelumnya penelitian biomassa tongkol jagung yang pernah dilakukan dengan 4 variasi kecepatan oksigen yaitu 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam, dan 9,24 kg/jam mendapatkan warna api terbaik yaitu warna biru dengan prosentase warna sebesar 52,74% yang menggunakan perbandingan AFR sebesar 3,245 (Khoiriyah, 2015).

Tinggi nyala api pada debit udara 0,035325 m³/s adalah 1,2 cm. Perubahan ketinggian api mengalami peningkatan seiring dengan penambahan suplai udara yang masuk sampai dengan debit udara 0,176625 m³/s yang mempunyai ketinggian api 11 cm. Rata-rata ketinggian api dari percobaan satu sampai tiga adalah 1,2 cm; 4,4 cm; 7,2 cm; 9,4 cm dan 11 cm. Nyala api tertinggi diperoleh dengan suplai udara tertinggi yaitu 0,035325 m³/s dan nyala api terendah terdapat pada suplai udara terbesar yaitu 0,176625 m³/s (Indra, 2015)

Dari penelitian terdahulu peneliti bermaksud untuk mengetahui besarnya kalor pembakaran pada *syn-gas* yang dihasilkan dari proses gasifikasi tongkol jagung tersebut dengan menggunakan oksigen sebagai oksidatornya dan mengukur nilai dari temperatur, warna, serta ketinggian api.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh suplai oksigen terhadap temperatur api ?
2. Bagaimana pengaruh suplai oksigen terhadap ketinggian api ?
3. Bagaimana pengaruh suplai oksigen terhadap warna api ?
4. Bagaimana pengaruh suplai oksigen terhadap kalor yang mampu diserap air ?

1.3 Tujuan

Beberapa tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh suplai oksigen terhadap warna api.
2. Untuk mengetahui pengaruh suplai oksigen terhadap ketinggian api.
3. Untuk mengetahui pengaruh suplai oksigen terhadap temperatur api.
4. Untuk mengetahui pengaruh suplai oksigen terhadap kalor yang mampu diserap air.

1.4 Manfaat

Energi terbarukan yang berasal dari limbah tongkol jagung ini diharapkan dapat membantu mengatasi krisis energi yang ada dan penelitian ini dapat melengkapi data yang sebelumnya telah melakukan penelitian yang sama.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa yang biasa disebut dengan material biologis berasal dari sisa tanaman atau limbah sisa pertanian bahkan residu dari kotoran hewan yang di dalamnya mengandung energi potensial untuk dijadikan sumber energi. Pada kenyataannya, biomassa di alam bebas dibiarkan dan diuraikan langsung oleh mikroorganisme lain untuk menghasilkan kembali gas CO₂. Pembakaran biomassa yang berasal dari rumah tangga atau bahkan dari industri seperti industri kayu juga menghasilkan CO₂ yang akan kembali ke atmosfer. Peran tumbuhan hijau yang melakukan aktifitas fotosintesis menyerap kembali CO₂ sehingga gas CO₂ yang dihasilkan saat proses biomassa ini dikenal dengan istilah GHG Neutral atau *Green House Gas Neutral* (Basu, 2010).

Biomassa sendiri merupakan sumber energi yang dapat cepat diperbarui tanpa melalui tahapan proses geologi seperti batubara dan minyak bumi. Hal lainnya biomassa mempunyai kadar *volatile* tinggi (60-80%) dengan kadar karbon yang rendah bila dibandingkan dengan batu bara. Gas CO₂ yang dilepaskan oleh biomassa meskipun berjumlah besar tetapi masih dapat diserap oleh tanaman hijau daripada gas CO₂ yang dilepaskan oleh batubara ataupun minyak bumi sehingga dapat dikatakan hampir tidak ada gas CO₂ yang menumpuk di atmosfer dan hal ini menjadi kelebihan dari biomassa itu sendiri sebagai bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan (Putri, 2009).

2.1.1 Sumber Biomassa

Di Indonesia sendiri sumber biomassa sangatlah bervariasi mulai dari limbah rumah tangga, limbah kayu bahkan limbah pertanian. Salah satunya berupa tanaman jagung yang kurang dimanfaatkan sebagai limbah biomassa tongkol jagung.

Kabupaten Jember juga mempunyai potensi terhadap limbah biomassa tongkol jagung dengan penggunaan lahan sebesar 55.654 ha yang mewakili Jawa Timur sebagai salah satu wilayah penghasil tanaman jagung.

Tabel 2.1 Potensi Jagung di Kabupaten Jember

Produksi (tahun)	Hasil Produksi (ton)
Produksi 2012	418.141
Produksi 2011	404.403
Produksi 2010	360.153
Produksi 2009	329.580
Produksi 2008	247.481

Sumber data: Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2013

Dapat diketahui melalui Tabel 2.1 bahwa Kabupaten Jember mempunyai potensi yang besar terhadap tingkat produksi tanaman jagung yang terus meningkatnya hasil pertanian tanaman jagung setiap tahunnya.

2.1.2 Biomassa Tongkol Jagung

Limbah biomassa tongkol jagung merupakan salah satu limbah dari hasil pertanian yang ada di Indonesia. Berdasarkan data BPS (2013), produktivitas tanaman jagung di Indonesia dalam kurun waktu lima tahun (2009-2013) mencapai rata-rata 4,59 ton/ha. Jumlah tersebut meningkat dari tahun 2009 berjumlah 4.24 ton/ha menjadi 4.80 ton/ha pada tahun 2013. Hal inilah yang mendukung limbah biomassa tongkol jagung sebagai energi alternatif.

Karakteristik utama tongkol jagung sebagai bahan baku bioenergi adalah dengan mengetahui analisis *proximate* sifat bahan bakar (*fuel properties*) yang menunjukkan kadar air (*moisture content*), nilai kalori (*calorie value*), kandungan abu (*ash content*) serta kandungan pokok dari biomassa yang berkesinambungan dengan energi. Yang kedua analisis *ultimate* yang

menunjukkan kandungan unsur utama penyusun limbah biomassa tongkol jagung seperti karbon (*C*), hidrogen (*H*), nitrogen (*N*), sulfur (*S*), dan oksigen (*O*) (Syukri, 2013).

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Tongkol Jagung

Analysis	Content	Value
Fiber analysis (wt%)	Hemicellulose	22.8
	Cellulose	69.2
	Lignin	8.0
Elemental analysis (wt%, dry basis)	C	42.0
	H	6.7
	N	1.5
	O (by difference)	48.1
Proximate analysis (wt%)	Moisture	14.1
	Volatile matter (VM)	68.5
	Fixed carbon (FC)	15.9
	Ash	1.5
HHV (MJ kg ⁻¹)	-	18.1

Sumber: Jau Jang Lu dan Wei-Hsin Chen, 2011

Tabel 2.2 tersebut menjelaskan bahwa analisa *proximate* tongkol jagung mengandung 14,1% kandungan air (*moisture*), 68,5% *volatil matter* nya, karbon tetap sebesar 15,9%. Untuk analisa *ultimate* nya ditemukan abu sebesar 42 wt%, hidrogen 6,7wt%, nitrogen 1,5wt% dan oksigen 48,1 wt%.

2.2 Gasifikasi

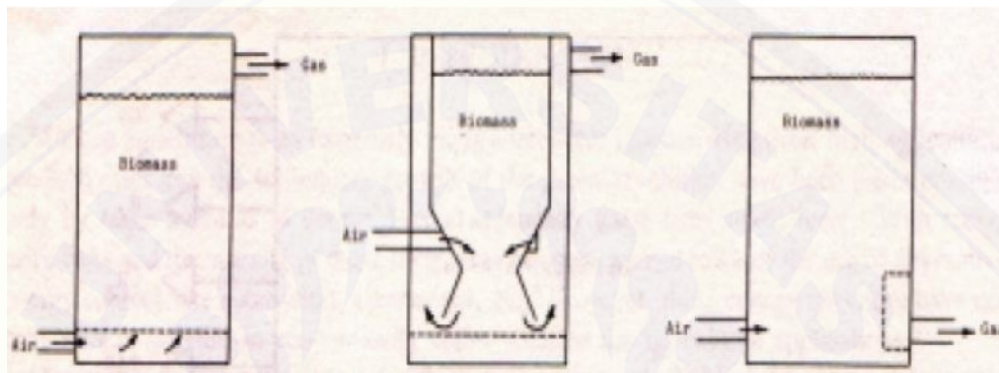
Gasifikasi merupakan suatu proses konversi energi dari berbagai bahan bakar yang mengandung karbon (padat maupun cair) menjadi *syn-gas* atau gas sintetis dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu tungku reaktor yang biasa dikenal sebagai *gasifier*. (Rajvansi, 1986)

2.2.1 Tipe Gasifier

Berdasarkan mode fluidisasinya, jenis gasifier dapat dibedakan menjadi 3 yaitu gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), gasifikasi

unggun bergerak (*moving bed gasification*), gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*), dan *entrained bed* (Putri, 2009)

Berdasarkan arah alirannya, gasifier dapat dibedakan menjadi gasifikasi aliran searah (*downdraft gasification*), gasifikasi aliran berlawanan (*updraft gasification*), dan gasifikasi aliran menyilang (*crossdraft gasification*)



Gambar 2.1 Tipe Gasifikasi (*Updraft, Downdraft, Crossdraft*) (Putri,2009)

Perbedaan ketiganya terdapat pada arah aliran udara dan arah aliran bahan bakarnya yaitu biomassa itu sendiri. Pada gasifikasi *downdraft* (searah) mempunyai arah aliran udara dan aliran bahan bakar yang sama-sama ke bawah. Pada gasifikasi *updraft* (berlawanan) memiliki arah aliran udara ke atas sedangkan arah aliran biomassa nya ke bawah. Pada gasifikasi *crossdraft* (menyilang) arah aliran gas dijaga mendatar melewati aliran biomassa ke bawah (Heru, 2014)

Pemilihan penggunaan gasifikasi tipe *downdraft* adalah pemilihan dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan gasifikasi tipe *downdraft*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Adaptasi <i>syn-gas</i> dapat lebih fleksibel • Menghasilkan kandungan tar relatif rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktor pada gasifikasi tipe ini harus memiliki dimensi yang tinggi • Kurang layak untuk bahan bakar dengan pertikel kecil

Sumber: Rajvanshi, 1986

Reaktor gasifikasi sendiri memiliki tiga poin penting yang berpengaruh besar pada tingkat efisiensinya, yaitu:

- Mempirolisis biomassa untuk memproduksi *volatile matter*, gas, dan karbon
- Menkonversi *volatile matter* menjadikannya ke gas permanen, CO, H₂, dan CH₄
- Menkonversikan karbon menjadi CO dan CH₄ dengan jumlah tar yang kurang dari 1 g N/m³ (Heru, 2014)

2.2.2 Proses Gasifikasi

Pada umumnya bahan bakar padat (biomassa) selama gasifikasi mengalami beberapa tahapan sebelum pada akhirnya menjadi gas *flammable*.

Tahapan tersebut meliputi:

1. Proses *Drying*

Pada tahap proses ini melakukan pengurangan kadar air pada bahan baku. Sebisa mungkin biomassa tidak mengandung air dan berada pada zona temperatur antara 100-300°C. Cara menghilangkannya melalui proses konveksi karena adanya pemanasan dalam reaktor dan udara yang bergerak ikut

mengeluarkan kandungan air biomassa. Proses ini akan lebih cepat pada temperatur tinggi karena dapat mempercepat proses difusi pada biomassa.

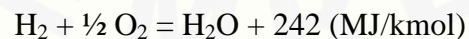
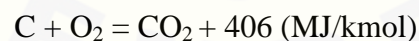
2. Proses *Pyrolysis*

Proses ini disebut juga proses pembakaran tanpa melibatkan oksigen tetapi produk yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya temperatur, tekanan, waktu, dan *heatlosses*. Pada zona inilah biomassa mulai bereaksi dan membentuk tar serta senyawa gas *flammable*. Proses ini dimulai pada temperatur sekitar 300°C saat komponen tidak stabil secara thermal dan menghasilkan tiga jenis yaitu gas *flammable* (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar, dan arang. Reaksinya secara umum beserta produknya yaitu:

Biomassa → arang + tar + gas (CO₂, CO, H₂O, H₂, CH₄, C_xH_y)

3. Proses Oksidasi

Proses oksidasi merupakan proses menghasilkan panas (*eksoterm*) yang memanaskan lapisan karbon di bawah. Umumnya terjadi pada temperatur 900°C ke atas. Pada *gasifier downdraft* temperatur tersebut digunakan untuk memecah substansi tar sehingga tar yang dihasilkan lebih rendah. Reaksi kimia yang terjadi adalah:



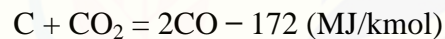
Proses ini dipengaruhi oleh oksigen sehingga reaksi *eksoterm* dapat terjadi dan akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Distribusi oksigen yang rata maka proses oksidasi akan menghasilkan temperatur maksimal. Pada zona ini sekitar 20% arang bersama *volatile* akan beroksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dengan pemanfaatan oksigen yang dibatasi

20% dari keseluruhan yang digunakan pembakaran dalam reaktor. Sisanya 80% arang akan turun membentuk lapisan *reduction* dimana bagian ini hampir seluruh karbon digunakan dan abu yang terbentuk akan berpindah ke penampungan abu.

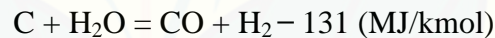
4. Proses Reduksi

Proses ini adalah reaksi penyerapan panas (*endoterm*) yang memperhatikan temperatur yang keluar dari gas. Reaksi kimia yang terjadi meliputi *Bourdouar reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation* yang semuanya merupakan proses penting terbentuknya senyawa- senyawa untuk menghasilkan *flammable gas* seperti hidrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi antara temperatur 400-900°C dan memiliki reaksi kimia seperti berikut:

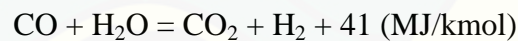
Bourdouar reaction:



Steam-carbon reaction:



Water-gas shift reaction:



CO methanation



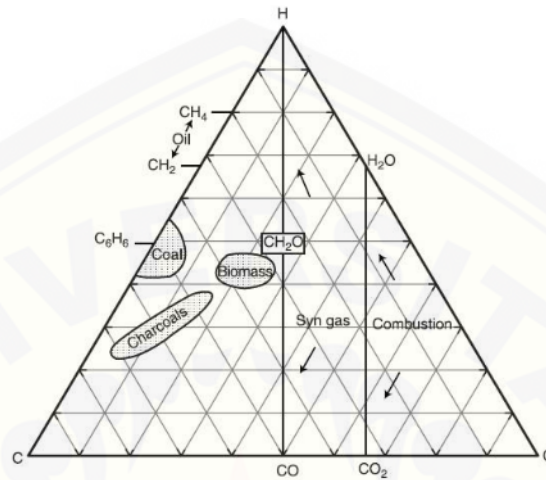
Dapat disimpulkan pada proses ini gas yang mudah terbakar seperti CO, H₂, dan CH₄ mulai terbentuk sehingga bagian ini disebut sebagai *producer gas*. (Khoiriyah, 2015)

2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Gasifikasi

Hasil dari gasifikasi sangat tergantung pada bahan baku itu sendiri dan beberapa faktor yang berkaitan saat proses dilakukan, yang meliputi:

1. Analisis pokok bahan baku

Dalam hal ini analisis yang dilakukan adalah menentukan komposisi kimia dari jenis bahan bakar tersebut.



Gambar 2.2 Diagram C-H-O (Dutta dan Acharya, 2011)

Dalam gambar tersebut menunjukkan bahwa bahan bakar cair hanya terdiri dari karbon dan hidrogen, bahan bakar padat karbon dan arang memiliki oksigen yang rendah dan biomassa memiliki presentase oksigen yang tinggi. Gambar tersebut juga menunjukkan transisi dari gasifikasi ke pembakaran. Garis H₂O-CO₂ adalah garis sumbu pembakaran sedangkan garis H-CO merupakan garis sumbu gasifikasi.

2. Kadar air, *volatile matter*, kadar abu dari bahan baku

Bahan baku dengan kadar air serendah mungkin sangat dianjurkan karena bila kadar air masih tinggi memerlukan lebih banyak energi untuk menguapkannya. Dengan kata lain akan banyak terjadi *heatloss* selain itu pemberian panas yang berlebihan dengan kelembaban tinggi akan menghasilkan suhu yang rendah dan mempengaruhi gas yang dihasilkan. Untuk gasifikasi *downdraft* kadar air bahan baku harus kurang dari 25%.

Selama *pyrolysis*, *volatile matter* akan dilepaskan. Zat terbang ini terutama terdiri dari senyawa organik yang disebut tar. Tar digolongkan menjadi primer, sekunder, dan tersier yang perubahannya tergantung pada suhu. Tar umumnya akan mengembun di bagian pendingin *gasifier* dan dapat menyumbat pipa.

Ash merupakan kandungan mineral dalam bahan baku yang tersisa setelah pembakaran. Dalam gasifikasi bahan yang tersisa tidak hanya abu melainkan juga karbon yang tidak terbakar. Pengaruh *ash* sendiri yaitu menyatu dan membentuk slag serta arang atau kerak dan menghambat saluran. Jika tidak menyatu pun ash akan memberikan perlawanan dalam perpindahan massa. (Dutta dan Acharya, 2011)

3. Desain Reaktor

Bentuk *gasifier* sangatlah beragam untuk proses gasifikasi untuk itu pemilihan desain *gasifier* sangatlah penting karena hal itu sangat berpengaruh pada keseluruhan proses gasifikasi. Untuk penelitian ini menggunakan *gasifier* tipe *downdraft*.

4. Gasifying Agent

Penggunaan *gasifying agent* mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkan (*syn-gas*). O₂, H₂O, dan udara adalah beberapa yang sering digunakan.

Tabel 2.4 Produk gasifikasi dengan berbagai *Gasifying Agent*

Media Penggasifikasi	H ₂ (%)	CO (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
Udara	15	20	2	15
O ₂	20	-	40	40
H ₂ O	40	25	8	25

Sumber: Khoiriyah, 2015

Dari tabel tersebut terlihat bahwa penggunaan media oksigen atau uap air memiliki komposisi gas hasil gasifikasi yang lebih baik daripada menggunakan media udara biasa. Semakin tinggi temperatur media gasifikasi maka kandungan *flammable gas* nya juga semakin pekat.

5. Rasio Bahan Bakar dan Udara

Rasio yang tepat juga akan menghasilkan *syn-gas* yang maksimal. Kebutuhan udara pada proses gasifikasi ini berada di antara batas konversi energi, pirolisis, dan pembakaran. Penelitian yang sebelumnya dengan biomassa tempurung kelapa, semakin besar AFR maka semakin kecil komposisi *flammable gas* nya. (Khoiriyah, 2015)

2.3 *Synthetic Gas (Syn-gas)*

Syn-gas adalah gas sintetik atau pengganti gas alam yang merupakan bahan baku penting bagi bidang kimia serta bidang energi. *Syn-gas* sendiri campuran dari gas hidrogen dan karbon monoksida serta yang paling utamanya terbuat dari gas metana. Dihasilkan dari berbagai hidrokarbon termasuk batubara, minyak bumi dan biomassa.

Gasifikasi merupakan salah satu cara terbaik untuk memproduksi *syn-gas* dari batubara atau biomassa. Gas yang dihasilkan dari gasifikasi biomassa mengandung hidrogen, air, karbon monoksida, karbon dioksida, metana, hidrokarbon alifatik, benzena, toluena, dan sedikit amonia, asam klorida serta hidrogen sulfida. Reaksi reformasi uap digunakan untuk menghasilkan gas sintesis yang utamanya menghasilkan CH_4 . Untuk menghasilkan *syn-gas* yang baik karbon monoksida dan hidrogen harus dipisahkan.

Produksi *syn-gas* dari biomassa dapat bersuhu rendah ($\sim < 1000^\circ\text{C}$) dan suhu tinggi gasifikasi ($\sim > 1200^\circ\text{C}$). Suhu rendah biasa dilakukan dengan oksidator udara dan mengandung banyak nitrogen yang tidak diinginkan

dalam proses gasifikasi. Hal ini dapat di hindari dengan mengganti oksidator menggunakan oksigen.

Karena banyaknya komposisi gas yang dihasilkan saat gasifikasi berlangsung, produk gas tersebut harus dibersihkan sebelum digunakan untuk reaksi sintesis. Tar merupakan salah satu hasil dari gasifikasi yang harus dibersihkan karena tar dapat menyumbat saluran gas karena membeku dan membentuk gumpalan sehingga tar harus dicairkan dan di buang keluar pipa aliran gas. (Basu, 2010)

2.4 Karakteristik Api

Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi yang umumnya mengandung karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (udara) yang bereaksi dengan bahan bakar. Api sendiri merupakan pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan *subsonic*. Warna api dipengaruhi 2 hal yaitu campuran bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar. Kecenderungan api berwarna merah diartikan dengan bahan terbakarnya api mempunyai nilai kalor yang relatif kecil sedangkan kecenderungan api ke warna biru menunjukkan nilai kalor bahan bakar yang tinggi. Mode nyala api mempunyai dua tipe, yaitu:

1. Premixed Flame

Api yang dihasilkan dari campuran yang sempurna antara bahan bakar dan oksigen sebelum pemberian api. Umumnya cenderung berwarna biru dan laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi yang terkandung pada bahan bakarnya.(Khoiriyah, 2015)

2. *Diffusion Flame (Non-Premix)*

Merupakan api yang dihasilkan saat bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan terjadi secara bersamaan. Laju difusi reaktan dapat dipengaruhi oleh energi yang dimiliki bahan bakar. Api yang muncul akan bergantung dari sifat bahan bakar kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara disekitarnya. Pergerakan dari nyala api difusi cenderung lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala premix. Nyala api ini dapat berupa laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen Flame*)

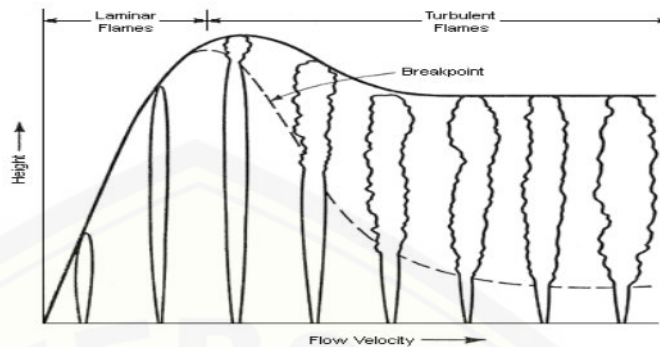
Dari kedua tipe di atas, nyala api dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu:

1. Api Laminar

Api ini mempunyai bentuk yang teratur dan api ini mengikuti *streamline* aliran tanpa adanya turbulensi yang keluar.

2. Api Turbulen

Memiliki bentuk aliran yang tidak teratur dan memberikan indikasi aliran ini bergerak sangat aktif. Gas reaktan akan direaksikan bersama oksigen dan bersamaan dengan penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam *syn-gas* yang dihasilkan saat proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan *flammable gas* maka kualitas api juga akan semakin baik.



Gambar 2.3 Arus *laminar* vs arus *turbulent* (Putri, 2009)

Aliran laminar sendiri merupakan aliran saat uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Adanya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Jika intensitas turbulensi terlalu banyak maka propagasi menurun dan membuat api padam. Karena turbulensi dipengaruhi aliran bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan dari bahan bakar tersebut.

Untuk warna dan jenis api akan diterangkan sebagai berikut:

2.4.1 Api Merah

Biasanya api berwarna merah atau kekuningan mempunyai suhu di bawah 1000°C . Maka dari itu api jenis ini mempunyai kadar panas yang kurang dan jarang digunakan pada kalangan industri baja ataupun material.



Gambar 2.4 Nyala api merah (Khoiriyah, 2015)

2.4.2 Api Biru

Api jenis ini adalah api yang sering kita jumpai di dapur yang dihasilkan oleh kompor gas untuk memasak. Karena api biru ini mempunyai suhu dibawah 2000°C . Gas yang terkandung telah mengalami pembakaran sempurna.



Gambar 2.5 Nyala api biru (Khoiriyah, 2015)

2.4.3 Api Putih

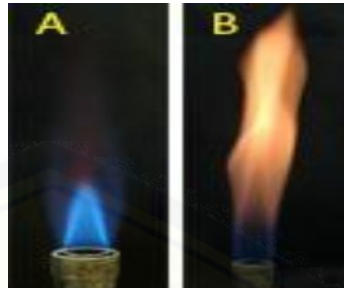
Api putih ini merupakan api yang paling panas di bumi karena memiliki suhu melebihi 2000°C . Bila di matahari, api ini berada di dalam inti dan muncul akibat fusi yang dilakukan matahari. Jenis api inilah yang digunakan dalam kalangan industri material atau baja.



Gambar 2.6 Nyala api putih untuk proses produksi industri (Khoiriyah, 2015)

2.4.4 Api Hitam

Api yang paling panas inilah yang disebut api hitam tetapi api hitam jarang sekali ditemukan di bumi. Adapun mungkin hasil dari simulasi. Misalnya kita melihat api dari kompor bunsen dengan teliti, maka di situlah terlihat perbedaan spektrum warnanya.



(a) laminar (b) turbulen

Gambar 2.7 Nyala api *bunsen burner* (Khoiriyah,2015)

Memperhatikan nyala api tersebut dengan seksama akan nampak warna api yang hampir transparan pada ujungnya dan itulah api hitam. Karena warna hitam sendiri mempunyai definisi sebagai ketiadaan cahaya pada spektrum warna cahaya.

Warna api sendiri juga dapat dibuat dengan pembakaran bahan kimia atau golongan unsur alkali ataupun alkali tanah, seperti:

1. *Red Strontium* adalah api merah (kandungan stronsium)
2. *Orange Calcium Chloride* adalah api oranye (pakai kalsium)
3. *Yellow Sodium Chloride* adalah api kuning (pakai sodium)
4. *Green Copper Sulfate* adalah api hijau
5. *Blue Copper Chloride* adalah api biru
6. *Violet 3 parts Potassium Sulfate 1 par Potassium Nitrate* merupakan api ungu
7. *White Manganese Sulfate* adalah api putih (menggunakan magnesium)

2.5 AFR (*Air-Fuel Ratio*)

Rasio kebutuhan suplai udara yang tepat sangat dibutuhkan dalam proses gasifikasi yaitu terletak di antara batas pembakaran dan pirolisis jika menginginkan hasil *syn-gas* yang maksimal. (Hermawan, 2014)

Perhitungan *Air-Fuel Ratio* (AFR) untuk kecepatan aliran udara:

$$AFR = \frac{\rho_{udara} \cdot v_{udara} \cdot A_{pipa}}{m_{biomassa}}$$

dengan:

AFR = *Air-Fuel Ratio*

v_{udara} = kecepatan udara yang mengalir (m/s)

A_{pipa} = luas penampang pipa saluran udara (m²)

ρ_{udara} = densitas udara (kg/m³)

$m_{biomassa}$ = massa biomassa yang digunakan (kg)

2.6 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan jumlah energi maksimum yang mampu untuk dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran persatuan massa atau volume bahan bakar. Bila ditinjau dari bentuk H₂O sebagai produk proses pembakaran, nilai kalor dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. HHV (Nilai Kalor Atas) apabila H₂O produk pembakaran dalam fase cair (jenuh).
2. LHV (Nilai Kalor Bawah) apabila H₂O produk pembakaran dalam fase gas.

Perhitungan nilai kalor biomassa ditinjau dari LHV *syn-gas* (Hermawan, 2014):

$$LHV_{gas} = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot v_i \cdot A_{pipa}$$

dengan:

$LHV_{\text{gas}} = \text{Lower Heating Value syn-gas (kJ/m}^3\text{)}$

$LHV_{\text{I}} = \text{Lower Heating Value gas I (kJ/m}^3\text{)}$

$Y_{\text{I}} = \text{konsentrasi gas (\%)}$

2.7 Hipotesa

Hipotesa yang dapat dibuat yaitu jika suplai oksigen yang diberikan semakin ditingkatkan dari kadar yang ingin ditentukan maka api akan mudah untuk dinyalakan dengan menghasilkan warna, tinggi, serta temperatur api yang optimal dan mempunyai kalor pembakaran sebesar mungkin karena komposisi *flammable gas* yaitu CH_4 , H_2 , dan CO yang dihasilkan juga baik. Hal ini karena oksigen sendiri merupakan jenis oksidator yang paling baik bila dibandingkan dengan uap air atau bahkan udara karena dapat menguraikan gas nitrogen yang dihasilkan oleh biomassa . Namun apabila jumlah oksigen yang diberikan melebihi kadar yang telah ditentukan maka api akan susah dinyalakan karena komposisi dari *flammable gas* yang terbentuk akan berkurang dimana di dalam *gasifier* hanya terjadi pembakaran yang menghasilkan *flue gas* yang banyak mengandung CO_2 dan H_2O serta merupakan gas buang yang tidak terpakai karena merupakan hasil pembakaran sempurna. Perbandingan komposisi antara bahan bakar dan oksigen yang sesuai untuk mendapatkan warna, tinggi, serta temperatur api, kalor pembakaran dan juga kandungan *flammable gas* yang baik adalah 5kg tongkol jagung menggunakan perbandingan AFR 1,5 - 6,25. Dikarenakan apabila AFR <1,5 merupakan proses pirolisis dan perbandingan AFR >6,25 adalah proses pembakaran sempurna.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Metode eksperimental ini digunakan untuk mengetahui karakteristik api berupa warna api, tinggi api, temperatur dan kalor yang mampu diserap air yang dihasilkan dari proses gasifikasi sistem *downdraft* berbahan baku tongkol jagung dengan menggunakan media gasifikasi (*gasifying agent*) yaitu oksigen dengan variasi kecepatan suplai oksigen sebesar 3,82 kg/jam, 6,01 kg/jam, 8,73 kg/jam dan 12,01 kg/jam.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

3.3.1 Alat

1. *Gasifier tipe downdraft*



Gambar 3.1 *Downdraft Gasifier*

2. Termokopel tipe K



Gambar 3.2 Kabel Termokopel Tipe-K

Spesifikasi yang dimiliki oleh Kabel Termokopel Tipe-K disajikan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 Spesifikasi Kabel Termokopel Tipe-K

NO	SPESIFIKASI	
1	Type	K
2	Bahan	Stainless
3	Panjang Kabel	2 m
4	Rentang Suhu	0°C - 1300°C
5	Sensitivitas	41 V/°C
6	Dimensi Sensor	Panjang 15cm x diameter
7	Berat	mm 5 100

3. *Thermoreader* Graphtec OI200A



Gambar 3.3 *Thermoreader*

4. *Anemometer*



Gambar 3.4 *Anemometer*

Spesifikasi yang dimiliki oleh *Anemometer* dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi *Anemometer*

No.	SPESIFIKASI	
1.	Air Velocity Range	Range: 0,7-30 m/s, 0-90 km/h, 0-5860 ft/min, 0-65 mph. Resolution: 0,1 m/s, 0,3 km/h, 19ft/min, 0,2 mph Threshold: 0,1 m/s, 0,3 km/h, 39 ft/min, 0,2 mph. Accuracy: +/- 5 %
2.	Air Temperature	Range: -10 - 45 degree, 14 - 113F Resolution: 0,2 centigrade, 0,36 F Accuracy: 2 centigrade, 3,6 F
3.	Ukuran	4,13 x 2,36 x 0,78

5. Kamera



Gambar 3.5 Canon EOS 600D

Spesifikasi yang dimiliki oleh kamera (Canon EOS 600D) dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 3.3 Spesifikasi kamera

No.	SPESIFIKASI	
1.	Camera Model	Canon EOS 600D
2.	ISO-Speed	ISO 100-6400
3.	Shutter Speed Range	30-1/4000 detik
4.	Resolusi layar	230000 dots
5.	Kamera	Primer: 18 MP, 5184x3456 pixels, image stabilization, flash Video: 1920x1080 HD pixels
6.	Lensa Canon EF Lense	18-55mm, f/3.5-5.6

6. Blower



Gambar 3.6 Blower

7. Bunsen Burner



Gambar 3.7 *Bunsen Burner*

8. *Stopwatch*

9. Timbangan

10. Gelas Ukur

11. Termometer Air Raksa

12. Tempat memanaskan air

3.3.2 Bahan

1. Tongkol jagung sebagai bahan gasifikasi
2. Arang sebagai pematik awal gasifikasi
3. Oksigen sebagai oksidator
4. Air sebagai media untuk mengukur kalor yang mampu diserap air dari api *syn-gas*.

3.4 Variabel Penelitian

Di dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel yang memiliki nilai besaran bebas karena ditentukan langsung oleh peneliti. Variabel ini tidak dipengaruhi oleh variabel lain tetapi hasilnya dapat mempengaruhi variabel lainnya. Dalam penelitian gasifikasi ini variabel bebasnya adalah kecepatan masuknya oksigen sebagai oksidator dengan variasi 3,28 kg/jam, 6,01 kg/jam, 8,73 kg/jam dan 12,01 kg/jam.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel yang nilainya berdasarkan hasil dari variabel bebas yang dilakukan dalam penelitian ini. Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi :

1. Temperatur api yang dihasilkan.
2. Tinggi api yang dihasilkan.
3. Warna api yang dihasilkan.
4. Kalor yang mampu diserap air.

3.5 Prosedur Penelitian

Tahapan dalam prosedur kerja dari penelitian ini yaitu:

1. Tahap persiapan
 - a. Mempersiapkan peralatan serta komponen yang mendukung dalam penelitian ini seperti reaktor, tabung oksigen, dan pipa sambungan.
 - b. Mempersiapkan alat ukur yang akan digunakan. Salah satunya termokopel yang disambungkan ke *thermoreader* untuk mengukur temperatur api.
 - c. Menyediakan potongan tongkol jagung yang sudah dikeringkan terlebih dahulu.
 - d. Mempersiapkan alat untuk mendokumentasikan karakteristik api.
2. Tahap Penelitian

Mengambil data dengan mengatur jumlah oksigen yang memasuki reaktor dengan menggunakan bahan tongkol jagung (biomassa). Tahapannya adalah sebagai berikut:

 - a. Menimbang tongkol jagung seberat 5 kg dengan timbangan.
 - b. Memasukkan bahan biomassa kedalam tungku dan menutupnya dengan rapat.
 - c. Menghubungkan tabung oksigen dengan *gasifier* dengan kepastian

tidak ada kebocoran dalam pipa penghubung tersebut.

- d. Menyalakan arang di tempat terpisah kemudian memasukkannya kedalam *gasifier* melalui tiga lubang pembakaran awal lalu menutup dengan rapat.
 - e. Melakukan pemanasan awal *gasifier* menggunakan udara selama 20 menit kemudian menghentikannya 5 menit dan menutup saluran masuk serta keluarannya.
 - f. Mengatur kecepatan suplai oksigen sebesar 3,82 kg/jam, 6,01 kg/jam, 8,73 kg/jam dan 12,01 kg/jam.
 - g. Saat saluran keluar pipa memunculkan *flammable gas*, menyambungkan *bunsen burner* dan proses ditunggu selama 20 menit lalu memantik gas tersebut hingga menyalakan api.
 - h. Setelah api menyala melakukan perebusan air di atas api untuk mengetahui kalor yang mampu diserap air.
3. Tahap Pengambilan Data
 - a. Merangkai semua komponen yang diperlukan untuk penelitian.
 - b. Mengisi bahan biomassa kedalam *gasifier*.
 - c. Pemasangan termokopel untuk mengukur temperatur api kemudian menghidupkan *thermoreader* saat api hidup dan mencatat sampai api padam.
 - d. Melakukan pengamatan ketinggian api serta prosentasi warna api dengan *software coreldraw* untuk selanjutnya diolah dan di masukkan ke dalam tabel penyajian data.
 - e. Melakukan pengukuran pada temperatur air yang direbus menggunakan api dari *syn-gas* tersebut untuk mendapatkan data kalor yang mampu diserap air.

Cara untuk menghitung presentase warna api merah atau biru dengan rumus berikut:

$$P_{m/b} = \frac{n_{m/b}/255}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

$P_{m/b}$ = Presentasi warna merah atau biru

$n_{m/?}$ = Nilai jumlah warna merah atau biru / 255

N = Jumlah warna merah atau biru

4. Tahap Akhir Penelitian
 - a. Mematikan dan membersihkan alat pada proses gasifikasi.
 - b. Merapikan kembali alat yang digunakan pada penelitian gasifikasi ini.

3.6 Penyajian Data Penelitian

Tabel 3.4 Data Temperatur Api dengan Variasi Oksigen 3,82 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0					
2	1					
3	2					
...	...					
10	9					

Tabel 3.5 Data Temperatur Api dengan Variasi Oksigen 6,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0					

2	1
3	2
...	...
10	9

Tabel 3.6 Data Temperatur Api dengan Variasi Oksigen 8,73 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Temperatur Api ($^{\circ}\text{C}$)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0					
2	1					
3	2					
...	...					
10	9					

Tabel 3.7 Data Temperatur Api dengan Variasi Oksigen 12,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Temperatur Api ($^{\circ}\text{C}$)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0					
2	1					
3	2					
...	...					
10	9					

Tabel 3.8 Data Tinggi Api dengan Variasi Oksigen 3,82 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

Tabel 3.9 Data Tinggi Api dengan Variasi Oksigen 6,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

Tabel 3.10 Data Tinggi Api dengan Variasi Oksigen 8,73 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

Tabel 3.11 Data Tinggi Api dengan Variasi Oksigen 12,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

Tabel 3.12 Data Prosentase Warna Api dengan Variasi Oksigen
3,82 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Prosentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	1		
3	2		
...	...		
10	9		

Tabel 3.13 Data Prosentasi Warna Api dengan Variasi Oksigen
6,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Prosentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	1		
3	2		
...	...		
10	9		

Tabel 3.14 Data Prosentasi Warna Api dengan Variasi Oksigen
8,73 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Prosentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	1		
3	2		
...	...		
10	9		

Tabel 3.15 Data Prosentasi Warna Api dengan variasi Oksigen
12,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Prosentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	1		
3	2		
...	...		
10	9		

Tabel 3.16 Data Kalor yang Mampu diserap Air dengan Variasi Oksigen
3,82 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Kalor Pembakaran (KJ)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

Tabel 3.17 Data Kalor yang Mampu diserap Air dengan Variasi Oksigen
6,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Kalor Pembakaran (KJ)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

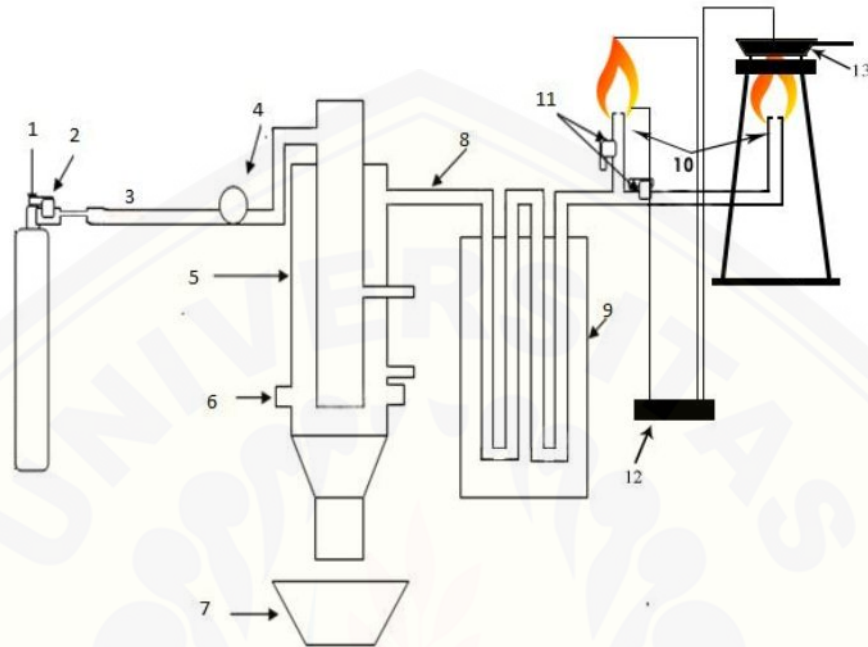
Tabel 3.18 Data Kalor Pembakaran dengan Variasi Oksigen 8,73
kg/jam

No.	Waktu (menit)	Kalor Pembakaran (KJ)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

Tabel 3.19 Data Kalor yang Mampu diserap Air dengan Variasi Oksigen
12,01 kg/jam

No.	Waktu (menit)	Kalor Pembakaran (KJ)
1	0	
2	1	
3	2	
...	...	
10	9	

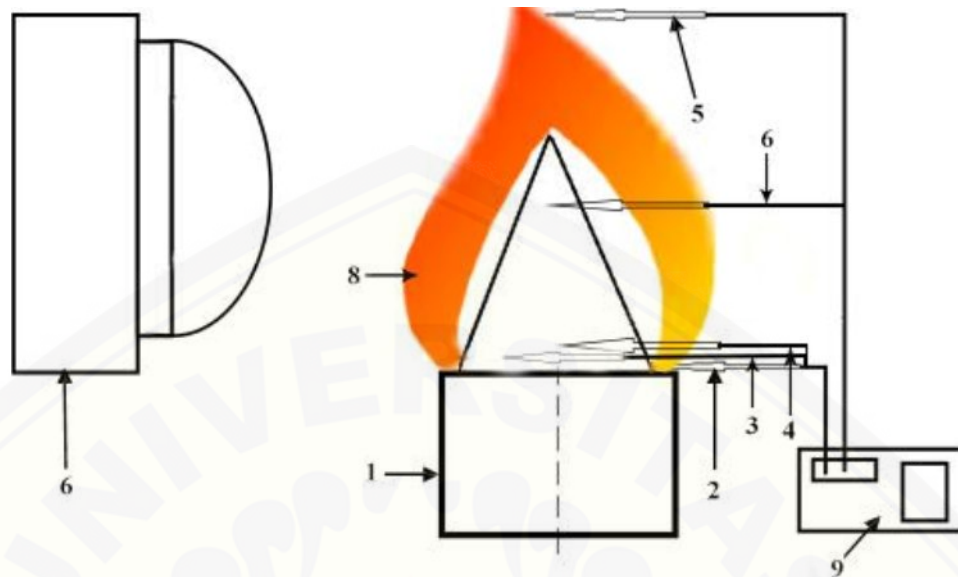
3.7 Skema Alat Uji



Gambar 3.8 Skema Alat Uji

Keterangan:

1. Tabung Oksigen
2. Katup
3. Pipa penghubung tabung oksigen dengan *gasifier*
4. Dial Indikator (mengukur kecepatan oksigen)
5. *Gasifier*
6. Lubang pemanasan awal
7. Tempat pembuangan
8. Pipa keluaran *flammable* gas
9. Pendingin
10. Bunsen burner
11. Katup
12. *Thermoreader*
13. Tempat memanaskan air

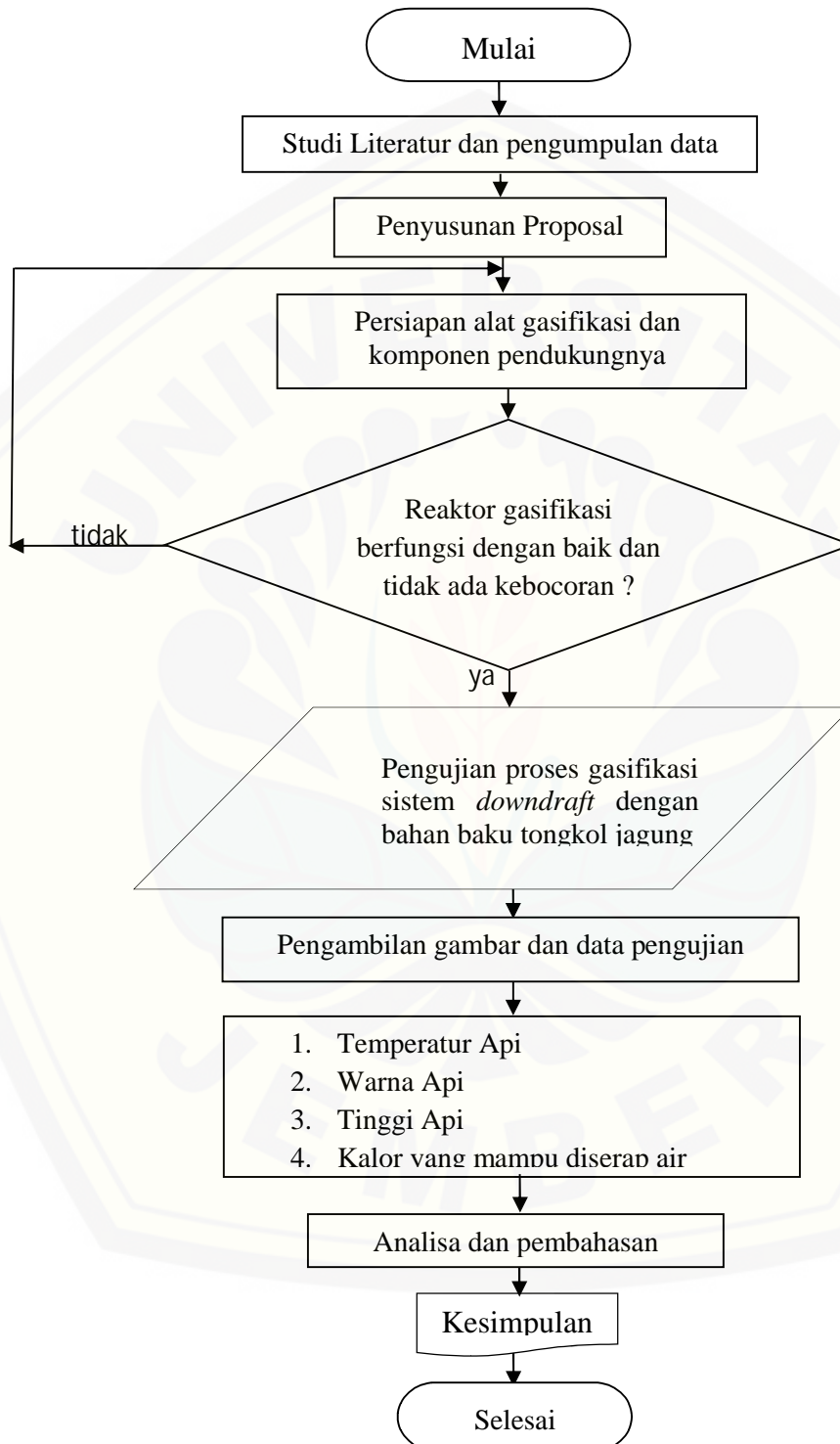


Gambar 3.9 Skema Pengukuran Temperatur Api dan Pengambilan Gambar Api

Keterangan:

1. Bunsen burner untuk keluaran *flammable* gas
2. Termokopel untuk mengukur panas api dititik pertama
3. Termokopel untuk mengukur panas api dititik kedua
4. Termokopel untuk mengukur panas api dititik ketiga
5. Termokopel untuk mengukur panas api dititik keempat
6. Termokopel untuk mengukur panas api dititik kelima
7. Nyala api
8. *Thermoreader*

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian Karakteristik Syn-gas

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian karakteristik api *syn-gas* dengan oksigen sebagai media gasifikasi berbahan baku tongkol jagung menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Temperatur titik horizontal (T1,T2,T3) mengalami penurunan dibandingkan titik vertikal (T3,T4,T5) yang terus mengalami peningkatan sampai titik puncaknya. Untuk rata-rata pada titik horizontal yaitu 522,9°C pada variasi 3,28 kg/jam selanjutnya mempunyai nilai temperatur 541,1°C pada suplai udara 6,01 kg/jam yang merupakan titik tertinggi pada bagian horizontal. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar aliran oksigen yang diberikan maka semakin tinggi temperatur api yang dihasilkan, terutama pada titik vertikal. Hal ini disebabkan meningkatnya daerah pembakaran pada *gasifier* yang menghasilkan gas mampu bakar semakin banyak pula.
2. Nyala api tertinggi pada suplai 12,01 kg/jam dan nyala api terendah pada suplai 3,82 kg/jam. Dikarenakan semakin besar aliran oksigen semakin banyak pula *flammable gas* yang keluar dan mengakibatkan api yang menyala menjadi semakin tinggi.
3. Semakin besar variasi suplai oksigen yang diberikan mengakibatkan semakin menurunnya jumlah *Syn-gas* yang dihasilkan. Dikarenakan proses pembakaran yang terjadi semakin cepat dan semakin sedikit *flammable gas* yang dihasilkan maka semakin merah warna yang dikeluarkan api.. Visualisasi api terbaik terjadi pada variasi suplai oksigen 3,82 kg/jam dengan warna biru rata-rata 42%.

4. Suplai oksigen yang semakin tinggi akan memberikan api dengan temperatur yang tinggi pula tetapi akan semakin cepat menghabiskan jumlah *syn-gas* yang diproduksi. Akibatnya kalor yang mampu diserap air tidak dapat maksimal karena api yang dihasilkan semakin cepat padam. Hal ini menjadikan kalor yang dapat diserap air pada variasi suplai oksigen pada 12,01 kg/jam adalah yang paling kecil yaitu sebesar 30,34 KJ

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian dan analisa tentang karakteristik api *syn-gas* berbahan baku biomassa tongkol jagung menggunakan model *downdraft*, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya menggunakan *bunsen burner* agar api *syn-gas* yang dinyalakan dapat diketahui dengan maksimal.
2. Sebaiknya membenahi kembali alat *gasifier downdraft* agar proses penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Saat pengambilan data sebaiknya ruangan dalam keadaan gelap dan di malam hari agar nyala api terlihat lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Arisanty Yovita R., Dkk. 2009. “*Gasifikasi Limbah Kulit Biji Kopi Dalam Reaktor Fixed Bed Dengan Sistem Inverted Downdraft Gasifier: Distribusi Suhu*”. Jogjakarta: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Basu, Prabir. 2010. “*Biomass Gasification and Pyrolysis : Practical Design and Theory*”. Elsevier Inc. Oxford.
- Dutta, 2011. “*Production of Bio-Syngas and biohydrogen via Gasification*”. Canada, University of Guelph.
- Frenico Angelius O. 2014. “*Pengaruh Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Temperatur dan Warna Api Pada Proses Gasifikasi Sistem Downdraft Menggunakan Bahan Baku Sekam Padi*”. Jember: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Hermawan Gilang. 2014. “*Pengaruh Variasi AFR (Air-Fuel Ratio) Terhadap Efisiensi Thermal Pada Proses Gasifikasi Sekam Padi Tipe Downdraft Dengan Dua Saluran Udara Masuk (Multi-Stage Reactor)*”. Jember: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Hadi Sholehul. 2013. “*Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar Terhadap Kualitas Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft Dengan Suplai Biomassa Serabut Kelapa Secara Kontinyu*”. Surabaya: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Heru M. 2014. “*Pengaruh Equivalence Ratio Terhadap Efisiensi Termal Proses Gasifikasi Sistem Downdraft Satu Saluran Udara Masuk Dengan Menggunakan Biomassa Sekam Padi*”. Jember: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Jau-Jang Lu dan Wei-Hsin Chen. 2014. “*Product Yields and Characteristics of Corncob Waste under Various Torrefaction Atmosphere*. Taiwan: Tainan University of Technology.

- Khoiriyah A. 2015. “*Karakteristik Api Syngas Pada Gasifikasi Sistem Downdraft Dengan Oksigen Sebagai Gasifying Agent Berbahan Baku Biomassa*”. Jember: Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- M Nur, Syukri. 2013. “*Karakteristik Tanaman Jagung Sebagai Bahan Baku Bioenergi*”. Bogor: PT. Insan Fajar Mandiri Nusantara.
- Najib, L. 2012. “*Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa*”. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- Putri, Gita A. 2009. “*Pengaruh Variasi Temperatur Gasifyig Agent II Media Gasifikasi Terhadap Warna dan Temperatur Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft dengan Bahan Baku Tongkol Jagung*”. Surabaya: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- Rajvansi Anil K. 1986. “*Biomass Gasification*”. Maharashtra, India: Nimbkar Agricultural Research Institute.
- Reed, T.B. and Agua Das. 1988. “*Handbook of Biomassa Downdraft Gasifier Engine System*”. Colorado: Solar Energi Research Institue.
- Tri Indra Setiadi, M. 2015. “*Pengaruh Suplai Udara Masuk Terhadap Visualisasi Nyala Api dan Tinggi Api Pada Gasifikasi Tempurung Kelapa*”. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

LAMPIRAN

Lampiran A. Tabel Hasil Penelitian

A.1 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 3,82 kg/jam

T1			T2			T3		
290	323	347	597	623	610	569	578	561
274	276	293	560	542	575	581	616	608
197	175	206	784	767	789	632	628	645
280	261	308	767	771	751	656	634	669
192.4	173.9	187.2	731	724	746	578	685.3	679
182.9	128.3	258	641	619	639	670	667	683
185.4	257.5	202	703	683	740	619	610	627
265	305	275	739	715	709	621	616	615
279	256	226	691	718	727	655	637	652
234.7	231.8	241.5	735	755	748	625	615.7	624

T4			T5		
411	395	416	263	249	267
526	558	569	353	348	368
567	561	586	443	396	405
509	547	537	410	406	414
508	534	556	363	348	370
620	619	630	441	484	463
483	620	439	448	488	418
565	550	578	474	505	497
527	580	528.7	399	375	376
539	569	589	496	525	470

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0	320	610	569.3	407.3	259.6
2	1	281	559	601.6	551	356.3
3	2	192.6	780	635	571.3	414.6
4	3	283	763	653	531	410
5	4	184.5	733.6	647.4	532.6	360.3
6	5	189.7	633	673.3	623	462.6
7	6	214.9	708.6	618.6	514	451.3
8	7	281.6	721	617.3	564.3	492
9	8	253.6	712	648	545.2	383.3
10	9	236	746	621.5	565.6	497

A.2 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 6,01 kg/jam

T1			T2			T3		
363	394	387	601	639	651	579	588	592
425	463	410	578	606	591	567	569	581
300	311	341	622	638	619	560	549	552
374	353	380	719	701	704.5	532	541	521
379	383	419	704	675	696	552	559	566
375	388	415	650	601	632	557	533	548
387	435	468	727	704	734	515	526	567
368	370	386	771	749	712	535	544	538
346	424	353	776	794	796	528	537	530
381	395	367	782	785	773	520	531	523
T4			T5					
625	644	671	473	452	456			
568	574	554	407	392	390			
561	570	545	458	432	421			

559	603	587	392	400.7	411
672	732	674	495	507	487
559	578	574	303	358	361
633	642	654	420	439	457
568	542	517	387	371	403
648	633	651	417	415	396.5
629	652	632	339	318	312

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0	381.3	630.3	586.3	646.6	460.3
2	1	432.6	591.6	572.3	565.3	396.3
3	2	317.3	626.3	553.6	558.6	437
4	3	369	708.1	531.3	583.3	401
5	4	393.6	691.6	559	692.6	496.3
6	5	392.6	627.6	546	570.3	340.6
7	6	430	721.6	536	643	438.6
8	7	374.6	744	539	542.3	387
9	8	374.3	788.6	531.6	644	409.5
10	9	381	780	524.6	637.6	323

A.3 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 8,73 kg/jam

T1			T2			T3		
437	425	425	441	429	444	442	446	450
406	419	437	476	468	460	414	421	433
441	409	421	523	532	547	400	368	446
475	406	434	568	561	556	448	457	371
557	603	565	542	535	546	437	449	439
662	683	624	593	600.3	602	441	505	496

690	701	676	651	605	574	391	478	465
564	643	652	623	587	579	314	409	378
575	588	604	724	571	580	350	348	296
445	409	426	613	586	569	290	304	278

T4			T5		
649	657	634	449	480	460
671	695	653	480	512	494
645	669	668	470	507	497
674	662	685	365	441	383
773	767	724	550	512	537
697	688	736	553	567	566
739	694	753	594	600.7	574
746	692	701	445	454	483
778	749	757	524	469	538
680	675	644	315	329	311

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0	429	438	446	646.6	463
2	1	420.6	468	422.6	673	495.3
3	2	423.6	534	404.6	660.6	491.3
4	3	438.3	561.6	425.3	673.6	396.3
5	4	575	541	441.6	754.6	533
6	5	656.3	598.3	480.6	707	562
7	6	689	610	444.6	728.6	589.3
8	7	619.6	596.3	367	713	460.6
9	8	589	625	331.3	761.3	510.3
10	9	426.6	589.3	290.6	666.3	318.3

A.4 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 12,01 kg/jam

T1			T2			T3		
212	224	216	539	522	574	507	469	503
232	226	223	562	590	544	484	451	469
191.5	173.6	184.5	550	587	585	549	526	538
270	282	271	746	767	740	528	504	488
304	341	314	891	849	861	504	462	416
328	308	309	795	808	827	463	429	384
T4			T5					
690	702	689	664	654	672			
611	593	660	636	640	590			
765	816	802	629	649	642			
799	835	831	708	735	698			
663	610	587	545	538	576			
415	428	521	269	303	297			

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)				
		T1	T2	T3	T4	T5
1	0	214	545	493	693.6	663.3
2	1	227	565.3	468	621.3	622
3	2	183.2	574	537.7	794.4	640
4	3	274.3	751	506.7	821.6	713.6
5	4	320.6	867	460.6	620	553
6	5	315	810	425.3	454.6	289.6

A.5 Data Tinggi Api Semua Variasi Suplai Oksigen

Variasi	Menit	Tinggi Api (cm)			Rata- rata
		Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	
3,82 kg/jam	0	37.6	36.1	38.2	37.3
	1	40.0	39.7	42.3	40.7
	2	42.0	43	41.9	42.3
	3	46.1	45.9	44.7	45.6
	4	32.0	37.2	39.9	36.4
	5	40.0	39.8	41.2	40.3
	6	40.8	39.2	41	40.3
	7	38.1	37.4	39.5	38.3
	8	39.4	40.1	38.3	39.3
	9	34.2	35.2	36.1	35.2
6,01 kg/jam	0	41.4	40.8	42.3	41.5
	1	39.6	38.6	40.2	39.5
	2	36.7	39.3	39.8	38.6
	3	41.0	42	41.6	41.5
	4	39.8	40.3	40.6	40.2
	5	41.3	39.7	43.2	41.4
	6	44.8	42.9	45.8	44.5
	7	41.8	40.1	42.7	41.5
	8	40.5	39	38.9	39.5
	9	29.6	32.4	33.1	31.7
8,73 kg/jam	0	43.0	45.2	42.8	43.7
	1	45.1	46.8	43.9	45.3
	2	45.7	46.9	43.5	45.4
	3	48.7	46	49	47.9
	4	49.4	48.3	46.3	48.0

	5	46.4	45.1	45.9	45.8
	6	44.7	42.9	42.8	43.5
	7	43.9	41.9	42.3	42.7
	8	47.2	45.4	46	46.2
	9	36.0	39.1	40.2	38.4
12,01 kg/jam	0	47.5	49.3	48.1	48.3
	1	46.9	46.1	48	47.0
	2	47.6	46.7	48.6	47.6
	3	49.7	49.7	47.3	48.9
	4	42.8	44.3	43.8	43.6
	5	35.7	36.1	34.7	35.5

A.6 Data Hasil Analisis Warna Api Semua Variasi Suplai Oksigen

Variasi Suplai Oksigen	Menit	Persentase Warna Api (%)						Rata- rata	
		Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Merah	Biru
		Merah	Biru	Merah	Biru	Merah	Biru		
3,82 kg/jam	0	63.2	36.8	68.3	31.7	60.07	39.93	63.86	36.14
	1	62.98	37.02	67.49	32.51	58.9	41.1	63.12	36.88
	2	57.64	42.36	61.3	38.7	58.1	41.9	59.01	40.99
	3	59.07	40.93	57.08	42.92	57.83	42.17	57.99	42.01
	4	59.4	40.6	57.65	43.35	57.29	42.71	58.11	42.22
	5	56.48	43.52	56.74	43.26	59.8	40.2	57.67	42.33
	6	58.75	41.25	55.27	44.73	58.97	41.03	57.66	42.34
	7	56.99	43.01	53.12	46.88	56.62	43.38	55.58	44.42
	8	55.79	44.21	54.76	45.24	55.81	44.19	55.45	44.55
	9	55.11	44.89	54.19	45.81	54.79	45.21	54.70	45.30
	0	64.76	35.24	67.31	32.69	63.49	36.51	65.19	34.81
	1	61.52	38.48	65.87	34.13	64.21	35.79	63.87	36.13

6,01 kg/jam	2	64.17	35.83	66.34	33.66	64.96	35.04	65.16	34.84
	3	58.56	41.44	63.56	36.44	60.35	39.65	60.82	39.18
	4	62.33	37.67	59.05	40.95	59.98	40.02	60.45	39.55
	5	60	40	59.12	40.88	57.52	42.48	58.88	41.12
	6	56.86	43.14	57.38	42.62	56.91	43.09	57.05	42.95
	7	55.38	44.62	54.79	45.21	56.42	43.58	55.53	44.47
	8	54.02	45.98	53.64	46.36	55.38	44.62	54.35	45.65
	9	56.6	43.4	55.92	44.08	56.29	43.71	56.27	43.73
	8,73 kg/jam	0	60.22	39.78	63.41	36.59	61.97	38.03	61.87
1		66.14	33.86	65.93	34.07	62.76	37.24	64.94	35.06
2		64.66	35.34	64.72	35.28	63.49	36.51	64.29	35.71
3		62.97	37.03	64.07	35.93	60.92	39.08	62.65	37.35
4		60.62	39.38	61.95	38.05	59.95	40.05	60.84	39.16
5		59.76	40.24	59.83	40.17	59.36	40.64	59.65	40.35
6		60.49	39.51	60.24	39.76	61.38	38.62	60.70	39.30
7		57.08	42.92	56.97	43.03	58.93	41.07	57.66	42.34
8		57.98	42.02	56.28	43.72	58.17	41.83	57.48	42.52
9	59.96	40.04	57.49	42.51	57.29	42.71	58.25	41.75	
12,01 kg/jam	0	65.85	34.15	67.04	32.96	66.21	33.79	66.37	33.63
	1	63.16	36.84	64.96	35.04	62.98	37.02	63.70	36.30
	2	64.67	35.33	65.17	34.83	61.86	38.14	63.90	36.10
	3	59.36	40.64	61.5	38.50	58.11	41.89	59.66	40.34
	4	58.44	41.56	60.73	39.27	57.87	42.13	59.01	40.99
	5	57.23	42.77	55.18	44.82	55.93	44.07	56.11	43.89

A.7 Data Kalor yang Mampu diserap Air Pada Semua Variasi Suplai Oksigen

Variasi Suplai Oksigen	Menit	Suhu Air (°C)			Rata- rata	KJoule
		Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3		
3,82 kg/jam	0	27.7	27.9	28.3	28	2.94
	1	28.5	28.4	28.8	28.6	4.2
	2	27.3	28.1	27.8	27.7	2.31
	3	33.1	33.6	33.7	33.5	14.49
	4	41.8	41.9	42	41.9	32.13
	5	46.7	45	47.3	46.3	41.37
	6	48.3	48.5	48.4	48.4	45.78
	7	49.5	52.4	51.8	51.2	51.66
	8	51.9	51.6	51.9	51.8	52.92
	9	52.4	52.1	53.5	52.7	54.81
6,01 kg/jam	0	27.3	27.8	26.8	27.3	1.47
	1	28.5	28.8	27.8	28.4	3.78
	2	30.4	30.8	31.6	30.9	9.03
	3	31.5	32.1	32.8	32.1	11.55
	4	39.6	39.7	39	39.4	26.88
	5	51.9	52.5	52.4	52.3	53.97
	6	56.7	57	57.7	57.1	64.05
	7	63.3	62.9	63	63	76.44
	8	65.3	65	65.2	65.2	81.06
	9	67.9	68.2	68.2	68.1	87.15
8,73	0	27.3	27.9	27.8	27.7	2.31
	1	29.1	30.1	29.7	29.6	6.3
	2	31.5	32.1	32.8	32.1	11.55
	3	36.7	36.2	37.3	36.7	21.21

kg/jam	4	48.3	48.5	48.4	40.8	29.82
	5	49.5	52.4	51.8	48.4	45.78
	6	53.9	54.1	53.7	53.9	57.33
	7	54.9	55.9	55.8	55.5	60.69
	8	59.3	58.6	59	59	68.04
	9	61.3	62.9	60.9	61.7	73.71
12,01 kg/jam	0	27.3	27.2	27.8	27.4	1.68
	1	29.9	30.1	30.6	30.2	7.56
	2	36.7	37.2	37.3	37.1	22.05
	3	49.5	51.4	50.8	50.6	50.4
	4	50.2	51.9	51.2	51.1	51.45
	5	49.3	50.1	50.3	49.9	48.93

Lampiran B. Perhitungan

B.1 Perencanaan Kecepatan Oksigen

Analysis	Conent	Value
Elemental analysis (wt%, dry basis)	C	42,0
	H	6,7
	N	1,5
	O (by difference)	48,1
Proximate analysis (wt%)	Moisture	14,1
	Volatile matter (VM)	68,5
	Fixed carbon (FC)	15,9
	Ash	1,5
HHV (MJ)	-	18,1

Massa atom relatif (Ar) C : 12

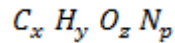
Massa atom relatif (Ar) H : 1

Massa atom relatif (Ar) O : 16

Massa atom relatif (Ar) N : 14

MOLARITAS

Rumus Empiris :



Dalam 100 gram tongkol jagung perbandingan molaritasnya :

$$= \frac{\% C \times 100 \text{ gr}}{12} : \frac{\% H \times 100 \text{ gr}}{1} : \frac{\% O \times 100 \text{ gr}}{16} : \frac{\% N \times 100 \text{ gr}}{14}$$

$$= \frac{42,0 \% \times 100 \text{ gr}}{12} : \frac{6,7\% \times 100 \text{ gr}}{1} : \frac{48,1\% \times 100 \text{ gr}}{16} : \frac{1,5 \% \times 100 \text{ gr}}{14}$$

$$= (3,5 : 6,7 : 3,006 : 0,10) / 3$$

$$= 1,16 : 2,23 : 1,02 : 0,03$$

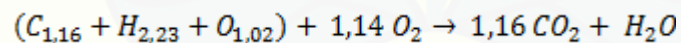
Maka nilai :

$$X = 1,16$$

$$Y = 2,23$$

$$Z = 1,02$$

$$P = 0,03$$

PEMBAKARAN*tongkol jagung + oksigen → karbondioksida + air*

Sisa = 0,23 mol H

$$AFR \text{ pembakaran} = \frac{n O_2}{n BB} = \frac{1,14 \text{ mol } O_2}{1} / \text{mol BB}$$

$$\text{Massa molar } O_2 = 31,9 \text{ gr/mol} = 0,031 \text{ kg/mol}$$

$$\text{Massa molar C} = 12,001 \text{ gr/mol} = 0,012 \text{ kg/mol}$$

$$\text{Massa molar H} = 1,0079 \text{ gr/mol} = 0,0010079 \text{ kg/mol}$$

$$\text{Massa molar O} = 15,994 \text{ gr/mol} = 0,015994 \text{ kg/mol}$$

$$\begin{aligned}
 AFR_{\text{pembakaran}} &= \frac{n_{O_2}}{n_{BB}} \\
 &= 1,14 \times \frac{0,031 \text{ kg/mol}}{(0,012 \text{ kg/mol} \times 1,16) + (0,00179 \text{ kg/mol} \times 2) + (0,015994 \text{ kg/mol} \times 1,02)} \\
 &= 1,14 \times \frac{0,031 \text{ kg/mol}}{0,0381388 \text{ kg/mol}} = 0,927
 \end{aligned}$$

Didalam tongkol jagung terdapat unsur C, H, O sebesar 96,8%. Maka dalam 5 kg tongkol jagung berat C, H, O : $5 \text{ kg} \times 96,8\% = 4,84 \text{ kg}$.

Udara pembakaran = $4,84 \text{ kg} \times 0,927 = 4,486 \text{ kg}$

$$V_{\text{pembakaran}} = \frac{4,486 \text{ kg}}{\rho_{O_2} \times A_{\text{pipa}} \times t}$$

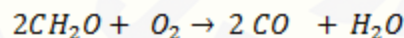
$$V_{\text{pembakaran}} = \frac{4,486 \text{ kg}}{1,331 \text{ kg/m}^3 \times 0,0028 \text{ m}^2 \times 30 \text{ min}}$$

$$V_{\text{pembakaran}} = \frac{4,486 \text{ kg}}{0,11 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \text{ min}}$$

$$V_{\text{pembakaran}} = 0,67 \text{ m/s}$$

GASIFIKASI

tongkol jagung + oksigen \rightarrow CO + H₂O



Sisa = 0,23 mol H

$$AFR_{\text{gasifikasi}} = \frac{n_{O_2}}{n_{BB}} = \frac{1}{2} \text{ mol } O_2 / \text{mol } BB$$

$$\text{Massa molar } O_2 = 31,9 \text{ gr/mol} = 0,0319 \text{ kg/mol}$$

$$\text{Masaa molar } \text{CH}_2\text{O} = 30,025 \text{ gr/mol} = 0,030025 \text{ kg/mol}$$

$$AFR_{pembakaran} = \frac{n_{O_2}}{n_{BB}} = 0,5 \times \frac{0,0319 \text{ kg/mol}}{(0,30025 \text{ kg/mol})}$$

$$= 0,5 \times \frac{0,0319 \text{ kg/mol}}{0,30025 \text{ kg/mol}} = 0,531$$

Didalam tongkol jagung terdapat unsur C, H, O sebesar 96,8%. Maka dalam 5 kg tongkol jagung berat C, H, O : 5 kg x 96,8% = 4,84 kg.

Udara pembakaran = 4,84 kg x 0,531 = 2,57 kg

$$V_{gasifikasi} = \frac{2,57 \text{ kg}}{\rho_{O_2} \times A_{pipa} \times t}$$

$$V_{gasifikasi} = \frac{2,57 \text{ kg}}{1,331 \text{ kg/m}^3 \times 0,0028 \text{ m}^2 \times 30 \text{ min}}$$

$$V_{gasifikasi} = \frac{2,57 \text{ kg}}{0,11 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \text{ min}}$$

$$V_{gasifikasi} = 0,389 \text{ m/s}$$

B.2 Perhitungan Nilai AFR

$$AFR = \frac{m_{udara pemanasan} + m_{oksigen}}{m_{biomassa}}$$

Dimana :

m_{udara} : massa udara untuk pemanasan yang dialirkan selama 20 menit (kg)

$m_{oksigen}$: massa oksigen yang dialirkan selama proses gasifikasi (kg)

$m_{biomassa}$: massa biomassa yang digunakan selama proses gasifikasi (kg)

m_{udara} dan $m_{oksigen}$ dapat diperoleh dengan perkalian antara massa jenis udara dan oksigen, kecepatan (m/s), dan luas penampang saluran masuk (m^2). Dimana :

V_{udara} : Kecepatan udara (m/s)

A_{pipa} : Luas penampang pipa saluran udara masuk (m^2)

ρ_{udara} : Massa jenis udara

$m_{oksigen}$: Massa oksigen

$$\begin{aligned} m_{udara} &= \rho_{udara} \times V_{udara} \times A_{pipa} \times t_{pemanasan} \\ &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 6,1 \text{ m/s} \times 0,001139 \text{ m}^2 \times 20 \text{ menit} \\ &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 6,1 \text{ m/s} \times 0,001139 \text{ m}^2 \times 1200 \text{ s} \\ &= 10,0049 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{oksigen} &= \rho_{oksigen} \times V_{oksigen} \times A_{pipa} \times t_{proses} \\ &= 1,331 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \text{ m/s} \times 0,001139 \text{ m}^2 \times 600 \text{ s} \\ &= 0,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga nilai AFR yang diperoleh :

$$AFR = \frac{m_{udara pemanasan} + m_{oksigen}}{m_{biomassa}}$$

$$AFR = \frac{10 \text{ kg} + 0,63 \text{ kg}}{5 \text{ kg}}$$

$$AFR = \frac{10,63 \text{ kg}}{5 \text{ kg}}$$

$$AFR = 2,12$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada masing- masing variasi suplai oksigen diperoleh data nilai AFR yang ditampilkan tabel seperti berikut :

Suplai Udara	Waktu Pemanasan	Suplai Oksigen	Waktu Proses	Massa Udara dan Oksigen	Massa Biomassa	AFR
(kg/min)	(s)	(kg/jam)	(s)	(kg)	(kg)	
0,3887	1200	3,82	600	10,63	5 kg	2,12
0,3887	1200	6,01	600	11	5 kg	2,2
0,3887	1200	8,73	600	11,45	5 kg	2,29
0,3887	1200	12,01	600	12	5 kg	2,4

B.3 Perhitungan Tingkat Kekeringan Bahan

Dalam proses gasifikasi kadar air yang terkandung dalam bahan haruslah sedikit mungkin. Untuk tingkat kekeringan bahan menggunakan :

$$\begin{aligned} \text{Berat air dalam bahan} &= \text{BB sebelum pengeringan} - \text{BB setelah pengeringan} \\ &= 13000 \text{ g} - 7.450 \text{ g} \\ &= 5550 \text{ g} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kadar air berat basahnya :

$$K_a = \frac{B_a}{B_a + B_k} \times 100\%$$

Dimana :

Ka : Kadar air berat basah (%)

Ba : Bobot air dalam bahan (g)

Bk : Bobot bahan kering mutlak (g)

$$\text{Jadi : } K_a = \frac{B_a}{B_a + B_k} \times 100\%$$

$$K_a = \frac{5550 \text{ g}}{5550 \text{ g} + 7450 \text{ g}} \times 100\%$$

$$K_a = \frac{5550 \text{ g}}{13000 \text{ g}} \times 100\%$$

$$K_a = 42,69 \%$$

Untuk mengetahui kadar air berat keringnya :

$$K_a = \frac{B_a}{B_k} \times 100\%$$

Dimana :

K_a : Kadar air berat basah (%)

B_a : Bobot air dalam bahan (g)

B_k : Bobot bahan kering mutlak (g)

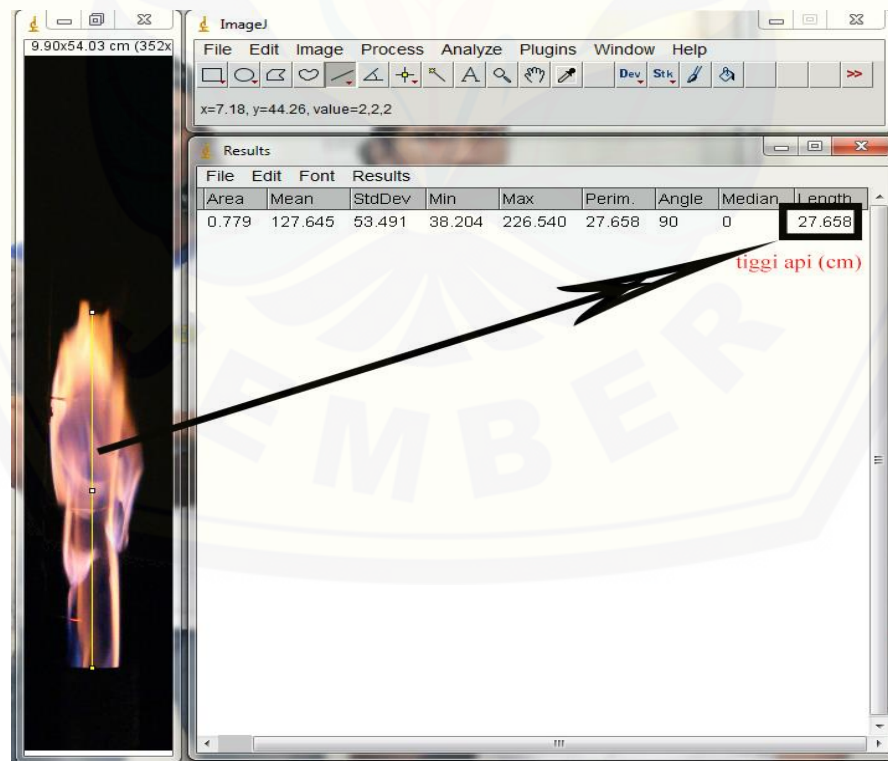
$$\text{Jadi : } K_a = \frac{B_a}{B_k} \times 100\%$$

$$K_a = \frac{5550 \text{ g}}{7450 \text{ g}} \times 100\%$$

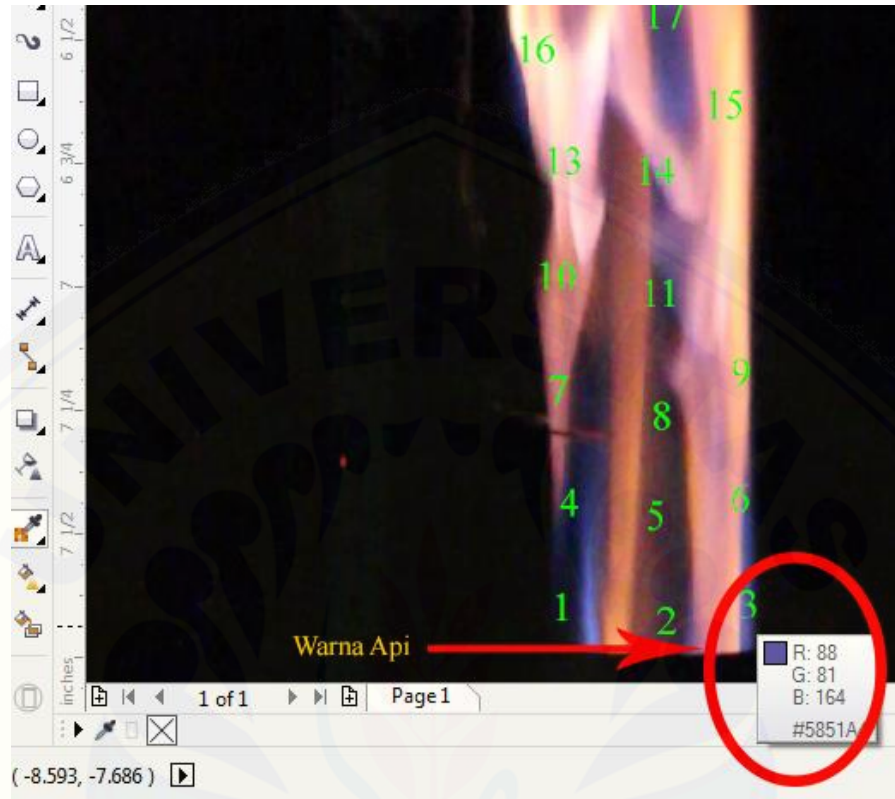
$$K_a = 74,49 \%$$

B.4 Perhitungan Tinggi Api

Untuk melakukan pengukuran pada tinggi api dapat menggunakan program *software imageJ* dengan hasil seperti berikut :



B.5 Perhitungan Warna Api



Setelah diketahui nilai masing- masing warna menggunakan *software coreldraw* selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel. Cara menghitung persentase warna merah atau biru dapat menggunakan rumus :

$$P_{m/b} = \frac{n_{m/b} / 255}{N} \times 100\%$$

Dimana :

$P_{m/b}$: Persentase warna merah atau biru

$n_{m/b}$: Nilai jumlah warna merah atau biru / 255

N : Jumlah warna merah dan biru

Lampiran C. Dokumentasi Penelitian

C.1 Kegiatan

1. Nyala api saat keadaan gelap gulita



2. Proses pengambilan data warna api dan tinggi api



3. Proses penyimpanan tongkol jagung untuk menjaga kondisi tidak lembab dan tetap kering

