



**KARAKTERISTIK API SYNGAS PADA GASIFIKASI SISTEM
DOWNDRAFT DENGAN OKSIGEN SEBAGAI GASIFYING
AGENT BERBAHAN BAKU BIOMASSA**

SKRIPSI

Oleh

**A'isyatul Khoiriyah
NIM. 111910101014**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**KARAKTERISTIK API SYNGAS PADA GASIFIKASI SISTEM
DOWNDRAFT DENGAN OKSIGEN SEBAGAI GASIFYING
AGENT BERBAHAN BAKU BIOMASSA**

SKRIPSI

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

Oleh

**A'isyatul Khoiriyah
NIM. 1119101014**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas curahan rahmat, nikmat serta hidayat-Nya sehingga karya tulis dalam bentuk skripsi ini dapat selesai. Dengan rasa bangga dan kerendahan hati skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Kepada Allah SWT yang telah yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini;
2. Bapak Sabar dan Ibu Riyati Ningsih tersayang yang senantiasa memberikan semangat, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal lelah hingga saat ini, serta doa yang selalu beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
3. Keluarga besar saya tercinta yang senantiasa mendukung dan memotivasi penulis untuk tetap semangat dalam menghadapi semua ujian;
4. Bapak Aris Zainul Muttaqin S.T.,M.T. dan Bapak Santoso Mulyadi S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis hingga memperoleh gelar S.T., terima kasih atas bimbingannya;
5. Bapak Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T selaku dosen penguji I, dan Bapak Sumarji S.T.,M.T selaku dosen penguji II yang memberikan masukan serta arahan dalam pengerjaan skripsi ini;
6. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember yang membantu penulis dalam menyelesaikan studi S1;
7. Kepada seluruh Teknik Mesin angkatan 2011 yang sudah bersedia membantu saya dalam proses pengerjaan skripsi ini. Terimakasih atas semua kontribusi yang kalian berikan;

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap” (Qs. Al-Insyirah, 94:6-8)

“Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah”
(Thomas Alva Edison)

“Barang siapa yang tidak mensyukuri yang sedikit, maka ia tidak akan mampu mensyukuri sesuatu yang banyak”
(HR. Ahmad)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : A'isyatul Khoiriyah

NIM : 111910101014

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “KARAKTERISTIK API *SYNGAS* PADA GASIFIKASI SISTEM *DOWNDRAFT* DENGAN OKSIGEN SEBAGAI *GASYFAYING AGENT* BERBAHAN BAKU BIOMASSA” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2015

Yang menyatakan,

(A'isyatul Khoiriyah)

NIM 111910101014

SKRIPSI

KARAKTERISTIK API SYNGAS PADA GASIFIKASI SISTEM *DOWNDRAFT* DENGAN OKSIGEN SEBAGAI *GASYFAYING* AGENT BERBAHAN BAKU BIOMASSA

Oleh

A'isyatul Khoiriyah

NIM 111910101014

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Santoso Mulyadi S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Karakteristik Api Syngas Pada Gasifikasi Sistem *Downdraft* Dengan Oksigen Sebagai *Gasyfying Agent* Berbahan Baku Biomassa” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 196812071995121002

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19700228 199702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Nasrul Ilimafik, S.T.,M.T.
NIP 19711114 199903 1 002

Sumarji, S.T.,M.T.
NIP 19680202 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. WidyonoHadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Karakteristik Api *Syn-gas* Pada Gasifikasi Sistem Downdraft Dengan Oksigen Sebagai *Gasyfying Agent* Berbahan Baku Biomassa; A;isyatul Khoiriyah, 111910101014; 2015; 75 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 karena sifatnya yang dapat diperbarui. 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 untuk mengukur kecepatan masuk suplai oksigen.

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terhadap timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan masuk suplai oksigen sebesar 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam dan 9,24 kg/jam. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah dari warna nyala api, tinggi nyala api dan temperatur api. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dari hasil penelitian diperoleh data hasil pengujian temperatur tertinggi nyala api *syn-gas* sebesar 9,24 kg/jam dengan temperatur T1 sebesar 379,08°C dan T2 sebesar 492,35°C. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya laju alir suplai oksigen maka temperatur daerah pembakaran akan meningkat sehingga mengakibatkan jumlah gas mampu bakar akan meningkat. Nyala Api tertinggi yaitu pada suplai oksigen 9,42 kg/jam dan nyala api terendah ada pada suplai oksigen terendah sebesar 5,43 kg/jam. Hal ini dikarenakan suplai oksigen yang

mengalir terus menerus dalam proses pembakaran mengakibatkan gas mampu bakar yang keluar semakin besar. Visualisasi terbaik yaitu pada suplai oksigen 8,04 kg/jam ditunjukkan dengan warna api biru. Hal ini dikarenakan pada suplai tersebut oksigen bereaksi dengan *syn-gas* dengan komposisi yang optimal.

SUMMARY

Syngas Flame Characteristic of Downdraft Gasification System with Oxygen as Gasyfying Agent Made From Biomass ; A'isyatul Khoiriyah. 111910101014; 75 Pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.

Indonesia an agricultural country have produced a lot of agricultural product, one of which is corn. Indonesia have program to development of renewable energy with various utilization. One of which is utilization biomass from agricultural waste used as fuel again. Biomass is very advantage because it is a source of energy that can be exploited in a sustainable manner because it is able Replaces. Gasification become appropriated method for converting biomass feedstock into a fuel gas for daily. The research method used was experimental method. By measuring and test equipment used to obtain research with a thermocouple, a camera phone, an anemometer to measured the speed of oxygen supply.

Independent variable is a variable that affects the emergence of the dependent variable. Independent variable in this study is a variation incoming oxygen supply speed of 5.34 kg / hour, 6.54 kg / hour, 8.04 kg / hr and 9.24 kg / hour. The dependent variable in this study is from the color of flame, the flame height and temperature of fire. This research was conducted at the Laboratory of Energy Conversion Faculty of Engineering, University of Jember.

The result showed the highest temperature of syn-gas flame at 9.24 kg / h with a temperature of 379.08 ° C T1 and T2 at 492.35 ° C. Due to the increased flow rate of oxygen supply then the combustion zone temperature will increase resulting amount capable fuel gas will increase. Flames highest in oxygen supply 9.42 kg / h and the flame is lowest on oxygen supply low of 5.43 kg / h because supply of oxygen flowing continuously into the process gas lead able to burn out the greater. Best Visualization is the oxygen supply 8.04 kg / hour is indicated by

the color of blue flame because in the supply of oxygen to react with the syn-gas with optimum compositions.

PRAKATA

Segala puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Karakteristik Api Syngas Pada Gasifikasi Sistem Downdraft Dengan Oksigen Sebagai Gasyfaying Agent Berbahan Baku Biomassa*. 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 Sabar dan Ibu tercinta Riyati Ningsih yang selalu tiada henti dan tiada lelah mendidik dan menasehati serta membantu dengan do'a, kekuatan, dukungan semangat moril dan materilnya. Adik tersayang Muhammad Fathur Rohman yang tak henti-hentinya memberi inspirasi dan menyemangati.
2. Bapak Aris Zainul Muttaqin S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Santoso Mulyadi 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 Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T selaku dosen penguji I, dan Bapak Sumarji S.T.,M.T. 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 saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
5. Kakek dan nenek yang selalu memberi nasehat dan mendoakan, Pak.de Suharto dan istri, Pak.de Supardi dan istri, Pak.de Kardiman, Pak.de Saleh dan istri, Alm Pak.de Sumadin, Bu.de Sumiati, Om Pangkat dan istri, sepupu dan keponakan penulis beserta keluarga besar yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

6. Kepada semua sahabat tercinta, Wrismi Daryanti, Lutfhi Setyarini, Shela Destriana, Ajeng Sastri Rahi Pangging, Nur Hidayaning Tyas yang selalu memberi semangat dalam keadaan apapun dan memotivasi penulis.
7. Satu tim skripsi gasifikasi (Setyo Pambudi dan Kiki Ermawati) yang telah banyak membantu dan memberi masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi.
8. Kepada seluruh Teknik Mesin angkatan 2011 yang sudah bersedia membantu saya 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 khususnya bagi Penulis dan peneliti-peneliti berikutnya.

Jember, Desember
2015

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Biomassa	4
2.1.1 Sumber Biomassa.....	4
2.1.2 Karakteristik Limbah Tanaman Jagung (Tongkol Jagung)	5
2.2 Gasifikasi	6
2.2.1 Definisi Gasifikasi.....	7
2.2.2 Proses Gasifikasi.....	9
2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi	11
2.3.1 Karakteristik Biomassa	11
2.3.2 Desain Gasifier	12

2.3.3 Gasifaying Agent	12
2.3.4 Perbandingan Udara- Bahan Bakar (AFR).....	13
2.4 Karakteristik Api.....	13
2.4.1 <i>Premixed Flame</i>	13
2.4.2 <i>Diffusion Flame</i>	14
2.4.3 Api Laminer	14
2.4.4 Api Turbulen	14
2.4.5 Api Merah	15
2.4.6 Api Biru	16
2.4.7 Api Putih.....	16
2.4.8 Api Hitam	17
2.5 Penelitian Terdahulu	18
2.6 Hipotesis.....	10
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Waktu dan Tempat.....	21
3.3 Alat dan Bahan	21
3.3.1 Alat	21
3.3.2 Bahan.....	23
3.4 Variabel Penelitian	23
3.4.1 Variabel Bebas.....	23
3.4.2 Variabel Terikat.....	24
3.5 Prosedur Penelitian	24
3.6 Penyajian Data Pengujian.....	23
3.7 Skema Alat Uji.....	26
3.8 Diagram Alir Penelitian	30
3.9 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Data dan Hasil Pengujian.....	33
4.1.1 Data Nilai AFR dengan Variasi Suplai Oksigen	33
4.1.2 Data Distribusi Temperatur Api	35

4.2 Analisa dan Pembahasan	42
4.2.1 Analisa Distribusi Temperatur Api.....	42
4.2.2 Analisa Tinggi Nyala Api Semua Variasi Suplai Oksigen ..	45
4.2.3 Analisa Warna Api Syn-gas	46
BAB 5. PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gasifier Tipe Downdraft	8
Gambar 2.2 <i>Gasifier</i> Tipe <i>Updraft</i>	9
Gambar 2.3 Gasifier Tipe <i>Crossdraft</i>	9
Gambar 2.4 Nyala api.....	14
Gambar 2.5 Arus <i>laminar</i> vs arus <i>turbulent</i>	15
Gambar 2.6 Nyala api merah.....	15
Gambar 2.7 Nyala api biru pada kompor gas.....	16
Gambar 2.8 Nyala api putih pada proses produksi pabrik.....	16
Gambar 2.9 Nyala api <i>bunsen burner</i>	17
Gambar 2.10 Nyala api lilin.....	17
Gambar 3.1 Downdraft Gasifier.....	20
Gambar 3.2 Kabel Termokopel Tipe-K.....	21
Gambar 3.3 Thermoreader.....	21
Gambar 3. 4. Anemometer.....	21
Gambar 3.5 Nokia Lumia 925.....	22
Gambar 3.6 Blower.....	22
Gambar 3.7 Cara Mencari Nilai Warna Api Melalui Software Coreldraw.....	24
Gambar 3.8 Skema Alat Uji.....	29
Gambar 3.9 Skema Pengukuran Temperatur dan Pengambilan Gambar Api...30	
Gambar 3.10 Diagram alir penelitian karakteristik api <i>Syn-gas</i>	31
Gambar 4.1 Pengukuran Temperatur Api Pada Tiap Titik.....	35
Gambar 4.2 Grafik Distribusi Temperatur Api T1.....	42
Gambar 4.3 Grafik Distribusi Temperatur Api T2.....	43
Gambar 4.4 Perbandingan Temperatur Api T1 dan T2 Terhadap Variasi Suplai Oksigen	44
Gambar 4.5 Grafik Tinggi Nyala Api.....	45
Gambar 4.6 Tinggi Api Terhadap Variasi Suplai Oksigen.....	46
Gambar 4.7 Prosentase Warna Api Merah.....	47
Gambar 4.8 Prosentase Warna Api Biru.....	48

Gambar 4.9 Prosentase Warna Api Merah dan Biru Terhadap Variasi Suplai Oksigen.....	49
Gambar 4.10 Visualisasi Nyala Api pada Suplai Oksigen 5,35 kg/jam	49
Gambar 4.11 Visualisasi Nyala Api pada Suplai Oksigen 6,54 kg/jam.....	50
Gambar 4.12 Visualisasi Nyala Api pada Suplai Oksigen 8,04 kg/jam.....	50
Gambar 4.12 Visualisasi Nyala Api pada Suplai 9,24 kg/jam.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Potensi Jagung di Kabupaten Jember.....	5
Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Tanaman Jagung (Tongkol Jagung)	6
Tabel 3.1 Data Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 5,34 kg/jam.....	26
Tabel 3.2 Data Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 6,54 kg/jam.....	27
Tabel 3.3 Data Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 8,04 kg/jam.....	27
Tabel 3.4 Data Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 9,24 kg/jam.....	27
Tabel 3.5 Data Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 5,34 kg/jam.....	28
Tabel 3.6 Data Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 6,54 kg/jam.....	28
Tabel 3.7 Data Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam.....	28
Tabel 3.8 Data Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 9,24 kg/jam.....	28
Tabel 3.9 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 5,34 kg/jam	29
Tabel 3.10 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 6,54 kg/jam ...	29
Tabel 3.11 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam ...	29
Tabel 3.12 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 9,24 kg/jam. ...	30
Tabel 3.13 Jadwal Kegiatan Penelitian.	32
Tabel 4.1 Data Nilai AFR Pada Variasi Suplai Oksigen	33
Tabel 4.2 Data Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 5,34 kg/jam.....	36
Tabel 4.3 Data Hasil Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 6,54 kg/jam...	36
Tabel 4.4 Data Hasil Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 8,04 kg/jam.	37
Tabel 4.5 Data Hasil Distribusi Temperatur Api Suplai Oksigen 9,24 kg/jam...	37
Tabel 4.6 Data Hasil Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 5,34 kg/jam	38
Tabel 4.7 Data Hasil Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 6,54 kg/jam.....	38
Tabel 4.8 Data Hasil Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam.....	39

Tabel 4.9 Data Hasil Tinggi Api Variasi Suplai Oksigen 9,24 kg/jam.....	39
Tabel 4.10 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 5,34 kg/jam ...	40
Tabel 4.11 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 6,54 kg/jam ...	40
Tabel 4.12 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam ...	41
Tabel 4.13 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 9,24 kg/jam. ...	41

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi saat ini dan untuk masa depan sangatlah besar. Apabila energi yang digunakan selalu berasal dari penggunaan bahan bakar fosil tentunya lama kelamaan akan habis. Sehingga pengembangan energi terbarukan atau energi alternatif sangatlah penting untuk menjaga cadangan minyak bumi dan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang menjadi sumber energi utama.

Di Indonesia program untuk pengembangan energi terbarukan dilakukan dengan berbagai pemanfaatan. Salah satunya adalah pemanfaatan biomassa dari limbah pertanian dimanfaatkan lagi sebagai bahan bakar. Mengingat Indonesia merupakan negara agraris yang menghasilkan banyak hasil pertanian, salah satunya adalah jagung yang memiliki kapasitas produksi tidak kurang dari 19.377.030 ton/ha dan menempati posisi ke 8 dari 10 negara produsen jagung terbesar didunia. Jika dikaji lebih dalam potensi limbah jagung yang dihasilkan dari tanaman jagung di Indonesia sangat besar. Pemanfaatan limbah jagung ini akan menjadi bahan baku energi alternatif untuk membantu menyelesaikan masalah menipisnya cadangan minyak bumi dan membantu meningkatkan nilai guna material yang biasanya dikesampingkan karena limbah hasil panen. Dari produksi jagung tersebut dihasilkan limbah tongkol jagung sebanyak 1 ton per hektar atau sekitar 4 juta ton limbah tongkol jagung (Sumber: Statistik Pertanian, Departmen Pertanian RI, 2014).

Salah satu teknologi potensial untuk pemanfaatan limbah biomassa adalah teknologi gasifikasi. Gasifikasi adalah teknologi tepat guna untuk mengkonversi bahan bakar cair maupun padat menjadi flammable gas menggunakan suatu reaktor yang disebut gasifier. Pada alat ini bahan bakar biomassa diurai di dalam reaktor (ruang bakar) dengan udara/oksigen terbatas.

Pada penelitian sebelumnya, hasil terbaik dari pembakaran syngas menghasilkan api dengan temperatur rata-rata 503,433°C (Putri G.A, 2009). visualisasi nyala api dengan $AFR = 1,31$ terlihat bahwa api menyala berwarna kebiruan dengan ujung berwarna merah jingga. Dan temperatur nyala api pada

variasi ukuran luasan serabut kelapa ukuran 10-50 mm² adalah sebesar 380°C dan ukuran luasan sampah plastik 50-100 mm² adalah sebesar 350°C. Pada variasi AFR ini diperoleh nilai LHV (*Lower Heating Value*) *synthetic gas* yang cukup tinggi yaitu sebesar 5323,730 kJ/m³ untuk variasi ukuran luasan serabut kelapa 10-50 mm² dan 5049,18 kJ/m³ untuk variasi ukuran luasan serabut kelapa 50-100 mm². Kandungan *flammable gas* yang dimiliki oleh *synthetic-gas* saat AFR 1,31 masih memberikan profil api yang berwarna biru (Hadi,Sholehul.,Dkk., 2013).

Pengaruh variasi AFR terhadap temperatur dan warna api pada proses gasifikasi sistem downdraft menggunakan bahan baku sekam padi. Semakin meningkat suplai udara maka semakin meningkat juga temperatur api. Pada AFR 1,08 temperatur api mencapai 600°C, pada AFR 1,35 temperatur api maksimum mencapai 650°C. Dan pada penelitian dengan AFR 1,62 temperatur api maksimum mencapai 750°C, sedangkan temperatur api pada AFR 1,90 temperatur api maksimum mencapai 850°C. Dengan meningkatnya variasi AFR, juga berakibat pada warna api yang dihasilkan. Semakin mendekati AFR yang optimal semakin baik kualitas *syngas* yang dihasilkan yang ditunjukkan dengan dominan warna biru. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa AFR 1,35 merupakan penelitian dengan AFR terbaik yang ditunjukkan dengan warna api yang dominan biru pada menit awal (Sumber: Frenico A.O, 2014).

Untuk penelitian selanjutnya akan dilakukan penambahan oksigen sebagai *gasyfaying agent* untuk mengetahui berapa besar pengaruhnya terhadap karakteristik api *syngas* yang dihasilkan pada proses gasifikasi sistem *downdraft* berbahan baku biomassa yaitu tongkol jagung.

1.2 Rumusan Masalah

Pada uraian latar belakang diatas, tentunya timbul suatu permasalahan yang harus diselesaikan. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana mengkonversi bahan bakar alternatif berupa tongkol jagung pada proses gasifikasi sistem *downdraft* dengan *gasifying agent* yang digunakan adalah oksigen terhadap karakteristik api dengan variasi kecepatan oksigen yang digunakan terdapat 4 variabel yaitu sebesar 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam dan 9,24 kg/jam.

Sehingga didapatkan output dengan pengujian kualitas syngas yang dinyatakan dalam visualisasi api berupa warna api, tinggi api dan temperatur api.

1.2 Tujuan

Dari rumusan masalah yang sudah diuraikan maka tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui pengaruh oksigen sebagai *gasyfaying agent* pada gasifikasi sistem *downdraft* agar didapatkan output hasil pengujian karakteristik api berupa temperatur api, tinggi api dan nyala api *syngas* berbahan baku tongkol jagung.

1.4 Manfaat

Dengan adanya alternatif energi terbarukan diharapkan penelitian ini dapat membantu mengembangkan teknologi tepat guna dan memanfaatkan limbah jagung yang pada umumnya dianggap sebagai limbah pertanian. Penelitian ini juga dapat memberi warna baru dalam penelitian tentang gasifikasi biomassa yang telah banyak dikembangkan selama ini.

1.5 Batasan Masalah

Suatu permasalahan tentunya ada batasan masalah yang harus ditentukan supaya penelitian yang akan dilakukan tidak terlalu meluas dari tujuan yang ingin dicapai. Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. *Gasifier* yang digunakan adalah type *downdraft* dengan dua saluran udara.
2. Variasi kecepatan oksigen masuk yang digunakan adalah 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam dan 9,24 kg/jam.
3. Pengambilan visualisasi api menggunakan kamera standart dengan resolusi yang tinggi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa adalah sebutan yang diberikan untuk material yang tersisa dari tanaman atau hewan seperti kayu dari hutan, material sisa pertanian serta limbah organik manusia dan hewan. Energi yang terkandung dalam biomassa berasal dari matahari. Melalui fotosintesis, karbondioksida di udara ditransformasi menjadi molekul karbon lain (misalnya gula dan selulosa) dalam tumbuhan. Sedangkan hewan memperoleh energi dari tumbuhan yang dimakannya atau dari memakan hewan lain. Energi kimia yang tersimpan dalam dalam tanaman dan hewan (akibat memakan tumbuhan atau hewan lain) atau dalam kotorannya dikenal dengan nama bio-energi (Yulistiani, 2009).

Di alam bebas, biomassa yang dibiarkan begitu saja di tanah akan diuraikan oleh mikroorganisme dan menghasilkan kembali karbondioksida. Demikian pula pembakaran biomassa di rumah tangga, proses industri, aktivitas pembangkitan energi, ataupun transportasi akan mengembalikan CO₂ yang tersimpan dalam biomassa tersebut ke atmosfer. Tanaman yang baru tumbuh akan terus menjaga keseimbangan siklus karbon di atmosfer melalui penangkapan kembali CO₂. Sehingga gas CO₂ yang dihasilkan dari proses degradasi biomassa dikenal dengan Greenhouse Gas Neutral (GHG Neutral) (Basu, 2010).

Biomassa merupakan salah satu bentuk energi baru terbarukan (EBT) yang tersedia dalam jumlah besar dan sangat cocok untuk dikembangkan di Indonesia. Hal ini terlihat dari melimpahnya sumber bahan bakar biomassa di Indonesia seperti tongkol jagung yang selama ini masih belum dimanfaatkan secara maksimal.

2.1.1 Sumber Biomassa

Biomassa di Indonesia berasal dari limbah hutan, limbah kota, dan limbah pertanian. Salah satu biomassa yang belum terlalu banyak pemanfaatannya adalah tongkol jagung. Dari produksi jagung sebanyak 19.377.030 ton/ha yang tersebar di area perkebunan seluas 4 juta hektar dihasilkan limbah biomassa tongkol jagung sebanyak 1 ton per hektar atau sekitar 4 juta ton. Jika dikaji ulang,

produktivitas tanaman jagung terbesar terdapat di wilayah Jawa Timur karena luas lahannya lebih besar.

Potensi Jagung di Kabupaten Jember, Jawa Timur dengan Lahan yang Digunakan 55.654 ha dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Potensi Jagung di Kabupaten Jember

Produksi (tahun)	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

Dari tabel 2.1 terlihat bahwa potensi jagung wilayah Jawa Timur khususnya Kabupaten Jember mengalami peningkatan mulai dari tahun 2008-2012. Produksi tahun 2008 sebanyak 247.481 ton. Tahun 2009 sebanyak 329.580 ton. Tahun 2010 sebanyak 360.153 ton. Tahun 2011 sebanyak 404.403 ton. Dan terjadi peningkatan di tahun 2012 sebanyak 418.141 ton.

2.1.2 Karakteristik Limbah Tanaman Jagung (Tongkol Jagung)

Karakteristik tongkol jagung dapat diketahui dari analisis proksimate sifat bahan bakar (fuel properties) yang menunjukkan kadar air (moisture content), kandungan abu (ash content), nilai kalori (calorie value), dan kandungan pokok dari biomassa yang terkait sebagai energi atau pembakaran. Yang kedua dari analisis ultimate yang menunjukkan kandungan unsur-unsur utama yang menjadi penyusun utama limbah tongkol jagung seperti karbon (C), Hidrogen (H), Nitrogen (N), Sulphur (S), dan Oksigen (O). Karakteristik limbah tanaman jagung (tongkol jagung) dapat dilihat dari tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Tanaman Jagung (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, 2014

Dari tabel 2.2 terlihat bahwa kandungan yang terdapat pada tongkol jagung menurut Analisa *proximate* berupa kandungan air (*moisture*) sebesar 14,1 %, *volatil matter* sebesar 68,5%, karbon tetap sebesar 15,9 % dan abu sebesar 1,5 %. Sedangkan untuk analisa *ultimate* menyatakan komposisi karbon sebesar 42 wt%, hidrogen sebesar 6,7 wt%, nitrogen sebesar 1,5 wt% dan oksigen sebesar 48,1 wt%..

2.2 Gasifikasi

Biomassa memiliki tiga metode konversi energi, yaitu pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Perbedaan jenis konversi energi tersebut terletak pada banyaknya udara (oksigen) yang dikonsumsi saat proses konversi berlangsung. Proses pembakaran membutuhkan oksigen lebih banyak daripada proses gasifikasi, sementara pada proses pirolisis, oksigen yang digunakan sangat sedikit. Jumlah oksigen yang dibutuhkan ini dinyatakan dengan parameter perbandingan udara-bahan bakar atau Air-Fuel Ratio (AFR). Selanjutnya akan dibahas mengenai konversi energi gasifikasi lebih detail.

2.2.1 Definisi Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon (padat ataupun cair) menjadi gas yang disebut syngas (synthesis gas) atau

gas sintetis dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu reaktor yang dikenal dengan gasifier.

2.2.2 Tipe Gasifier

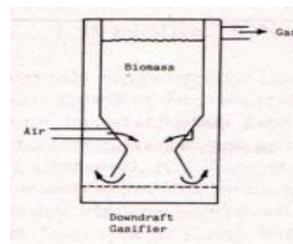
Jenis gasifier yang ada saat ini dapat dikelompokkan berdasarkan mode fluidisasi, arah aliran dan jenis gas yang diperlukan untuk proses gasifikasi (Reed and Das, 1988).

Berdasarkan mode fluidisasinya, gasifier dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: mode gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), mode gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*), mode gasifikasi entrained flow. Sampai saat ini yang digunakan untuk skala proses gasifikasi skala kecil adalah mode gasifier unggun tetap. (Reed and Das, 1988).

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

a. *Downdraft*

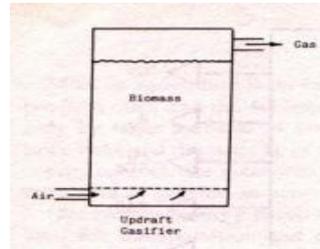
Pada gambar 2.1 gasifier tipe *downdraft* terdapat dua ruangan yaitu bagian dalam dan bagian luar. Lubang masuk *gasyfaying agent* berada dibagian tengah *gasifier* yang selanjutnya menuju ke bagian dalam *gasifier*. Karena bagian atas *gasifier* tertutup maka *Gasyfaying agent* turun melewati biomassa dan keluar ke ruang bagian luar *gasifier* sudah berupa gas mampu bakar. Bagian luar *gasifier* terdapat lubang saluran keluar gas mampu bakar yang biasanya berada di atas gasifier.



Gambar 2.1 Gasifier Tipe Downdraft (Sumber: Anil K. Rajvanshi, 2014)

b. *Updraft*

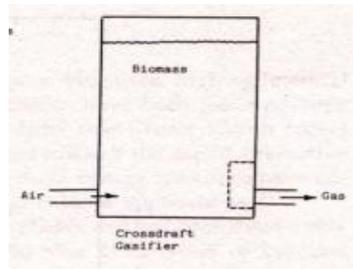
Pada gambar 2.2 *gasifier* tipe *updraft* hanya terdapat satu ruangan. *Gasyfaying agent* dihembuskan dari bagian bawah gasifier, melewati biomassa dan gas mampu bakar keluar *gasifier* dari bagian atas *gasifier*.



Gambar 2.2 *Gasifier* Tipe *Updraft* (Sumber: Anil K. Rajvanshi, 2014)

c. *Crossdraft*

pada gambar 2.3 *gasifier* tipe *crossdraft* ini *gasyfaying agent* dihembuskan dari salah satu sisi dari *gasyfaying agent*. Lubang keluar gas mampu bakar berada segaris dengan lubang masuk *gasyfaying agent*.



Gambar 2.3 *Gasifier* Tipe *Crossdraft* (Sumber: Anil K. Rajvanshi, 2014)

2.2.3 Proses Gasifikasi

Ada beberapa tahapan pada proses gasifikasi yang harus dilalui oleh biomassa sebelum pada akhirnya menjadi gas flammable pada output reaktor. Proses tersebut meliputi proses drying, pirolisis, oksidasi dan reduksi sebagai berikut (Putri G.A, 2009):

1. Proses Drying

Proses drying dilakukan bertujuan agar mengurangi kadar air (moisture content) yang terkandung di dalam biomassa dan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100 sampai 300° C. Kadar air pada biomassa dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang

bergerak mengeluarkan kandungan air biomassa. Semakin tinggi temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomassa sehingga proses drying akan berlangsung lebih cepat.

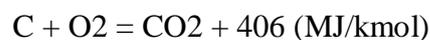
2. Proses Pirolisis

Proses pirolisis merupakan proses pembakaran tanpa melibatkan oksigen. Produk yang dihasilkan oleh proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti temperatur, tekanan, waktu, dan heat losses. Pada zona ini biomassa mulai bereaksi dan membentuk tar dan senyawa gas yang *flammable*. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi laju pemanasan selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 300 °C ketika komponen tidak stabil secara termal. Produk pirolisis terdiri dari tiga jenis yaitu H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar, dan arang. Secara umum reaksi yang terjadi pada pirolisis beserta produknya adalah:



3. Proses Oksidasi

Proses oksidasi adalah proses menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon di bawah. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya lebih dari 900° C. Pada temperatur setinggi ini pada gasifier downdraft, akan memecah substansi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut :



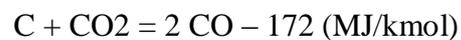
Proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen pada area terjadinya oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Distribusi oksigen yang merata akan menyempurnakan proses oksidasi sehingga dihasilkan temperatur maksimal. Pada daerah pembakaran ini, sekitar 20% arang bersama volatil akan mengalami

oksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dengan memanfaatkan oksigen terbatas yang disuplai ke dalam reaktor (hanya 20% dari keseluruhan udara yang digunakan dalam pembakaran dalam reaktor). Sisa 80% dari arang turun ke bawah membentuk lapisan reduction dimana di bagian ini hampir seluruh karbon akan digunakan dan abu yang terbentuk akan menuju tempat penampungan abu.

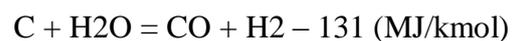
4. Proses Reduksi

Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm) dimana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Di antaranya adalah *Bourdouar reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation* yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa – senyawa yang berguna untuk menghasilkan flammable gas, seperti hydrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 400 sampai 900° C. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut :

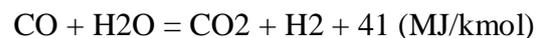
Bourdouar reaction:



Steam-carbon reaction :



Water-gas shift reaction:



CO methanation



Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H₂ dan CH₄ mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai *producer gas*.

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan syngas yang dihasilkannya. Faktor –faktor tersebut berkaitan dengan karakteristik biomassa, desain gasifier, jenis gasifying agent, dan *air-fuel ratio* (Putri G.A, 2009).

2.3.1 Karakteristik Biomassa, meliputi:

1. Kandungan energi

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomassa maka potensi energi yang dapat dikonversi juga semakin besar.

2. Kadar air (moisture content)

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan bermoistur rendah. Karena kandungan moisture yang tinggi menyebabkan heat loss yang berlebihan. Selain itu kandungan moisture yang tinggi juga menyebabkan beban pendinginan semakin tinggi karena pressure drop yang terjadi meningkat. Idealnya kandungan moisture yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi kurang dari 20 %.

3. Debu

Semua bahan baku gasifikasi menghasilkan dust (debu). Adanya dust ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan maintenance lebih. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan kandungan dust yang tidak lebih dari 2 – 6 g/m³.

4. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif, berbau tajam, dan menurunkan kualitas gas sebagai bahan bakar motor. Pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk approximate atomic CH_{1.2}O_{0.5}, terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah.

5. Ash/ Slag.

Ash merupakan kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksida setelah proses pembakaran. Sedangkan slag adalah kumpulan ash yang lebih tebal. Adanya ash dan slag pada gasifier menyebabkan penyumbatan pada gasifier dan Pada titik tertentu mengurangi respon pereaksian bahan baku.

2.3.2 Desain Gasifier

Gasifier yang digunakan adalah gasifier tipe downdraft. Bentuk gasifier yang dibuat untuk proses gasifikasi sangat mempengaruhi proses secara keseluruhan.

2.3.3 Gasifying agent

Gasifying agent utama yang sering digunakan adalah O_2 , H_2O , dan udara. Penggunaan jenis gasifying agent mempengaruhi kandungan gas yang dimiliki oleh syngas. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi gas hasil gasifikasi pada berbagai macam media gasifikasi. Dari tabel tersebut terlihat bahwa penggunaan media gasifikasi oksigen atau uap air memiliki komposisi gas hasil gasifikasi yang lebih baik dibandingkan media penggasifikasi udara (Sumber: Pranolo.S.H, 2013).
Tabel 2.3 Komposisi Produk hasil gasifikasi dengan berbagai media penggasifikasi

Media Penggasifikasi	H_2 (%)	CO (%)	CH_4 (%)	CO_2 (%)
Udara	15	20	2	15
O_2	20	-	40	40
H_2O	40	25	8	25

(Sumber: Pranolo.S.H, 2013)

Selain itu, temperatur media gasifikasi akan mempengaruhi kuantitas gas mampu bakar yang terkandung dalam gas hasil gasifikasi. Semakin tinggi temperatur media gasifikasi maka kandungan H_2 , CO, dan CH_4 di dalam gas hasil gasifikasi juga semakin pekat (Putri, G.A, 2009).

2.3.4 Perbandingan udara-bahan bakar (AFR)

Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika menginginkan hasil syngas yang maksimal. Penelitian sebelumnya dengan menggunakan tempurung kelapa semakin besar AFR, semakin kecil komposisi *flammable gas* dan LHV *syn-gas* (Najib L, 2012).

2.4 Karakteristik Api

Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bercampur dan terbakar dan pembakarannya dapat terjadi baik dalam mode nyala api ataupun tanpa mode nyala api. Bahan bakar merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar. Berdasarkan buku *an introduction to combustion concept and application*, definisi api adalah pengembangan yang bertahan pada suatu daerah pembakaran yang dialokasikan pada kecepatan subsonic. Warna api dipengaruhi oleh 2 hal yaitu kandungan bahan bakar dan campuran udara yang ikut terbakar. Ketika api memiliki warna cenderung merah hal tersebut dapat diartikan bahwa bahan terbakar api tersebut memiliki nilai kalor yang relative rendah, atau udara yang mencampuri proses pembakaran hanya sedikit sehingga campuran kaya. Saat api berwarna kebiruan adalah sebaliknya yang merepresentasikan nilai kalor bahan bakar yang tinggi, atau campuran miskin. Terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu:

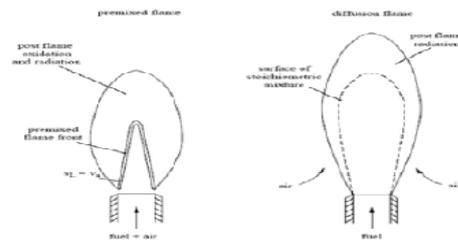
2.4.1 Premixed Flame

Premixed flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan oksigen yang telah tercampur sempurna sebelum pemberian sumber api. Umumnya indikasi premixed flame dapat dilihat dari warna api yang berwarna biru. Laju pertumbuhan api tergantung dari komposisi kimia bahan bakar yang digunakan.

2.4.2 Diffusion Flame (Non-premixed)

Diffusion Flame adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar dan oksigen bercampur dan penyalaan dilakukan secara bersamaan. Laju difusi reaktan bisa dipengaruhi oleh energi yang dimiliki oleh bahan bakar. Umumnya pada nyala api difusi pengaruh udara dari luar sebagai oksidator pembakaran kan berpengaruh pada nyala api yang dihasilkan. Pemunculan dari nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih

rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premix*. Nyala difusi berupa nyala laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulen Flame*). Model nyala api ditampilkan pada Gambar 2.6



(a) Premix

(b) Difusi

Gambar 2.4 Nyala api (Turns. 1996)

Selain itu kedua tipe di atas nyala api juga dibedakan berdasarkan jenis aliran yang terjadi, yaitu:

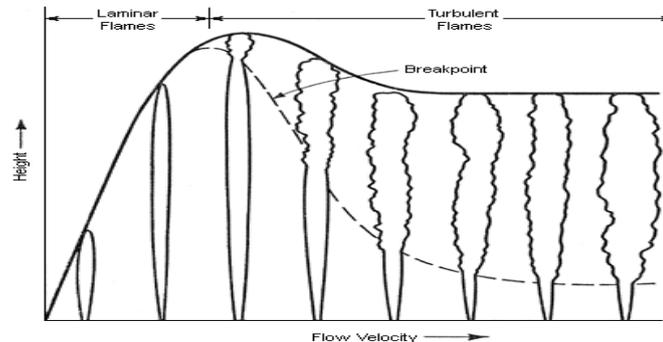
2.4.3 Api Laminar

Visualisasi api yang terlihat pada api tipe ini berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti streamline aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan.

2.4.4 Api Turbulen

Api turbulen menunjukkan pola aliran nyala api yang tidak beraturan atau acak yang member indikasi aliran yang bergerak sangat aktif. Pada pembakaran gas hasil gasifikasi menunjukkan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen bersamaan dengan saat penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang flammable maka kualitas api juga akan semakin tinggi. Turbulen aliran - aliran tiga dimensi yang tidak teratur terdiri dari pusaran (Transport panas, massa, dan momentum yang beberapa kali lipat lebih

besar daripada molekul konduktivitas, difusivitas, dan viskositas). Model Arus *laminar* vs arus *turbulent* pada nyala api ditampilkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.5 Arus *laminar* vs arus *turbulent* (Turns, 1996)

Aliran laminar adalah aliran ketika uap kecepatan rendah pada bahan bakar dilepaskan dari kompor. Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Tapi intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi di pengaruhi aliran bahan bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar (Bangkeju, 2012). Berikut ini beberapa penjelasan mengenai warna dan jenis api:

2.4.5 Api Merah

Api berwarna merah / kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1000 derajat celcius. Api jenis ini termasuk api yang "kurang panas" dikarenakan jarang atau kurang sering digunakan di pabrik-pabrik industri baja / material. Kalau pada matahari, api ini berada pada bagian paling luarnya, yaitu bagian yang paling dingin. Nyala api merah ditampilkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Nyala api merah (Sumber: Bangkeju, 2012)

2.4.6 Api Biru

Api berwarna biru merupakan api yang mungkin sering kita jumpai di dapur. Biasanya api ini sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000 derajat celcius. Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna. Jadi tingkatan api biru diatas merah. Nyala api biru ditampilkan pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Nyala api biru pada kompor gas (Bangkeju, 2012)

2.4.7 Api Putih

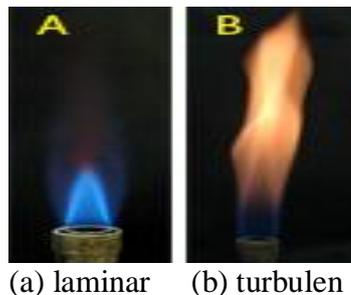
Nyala api Ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2000 derajat celcius. Api inilah yang berada di dalam inti matahari, dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya. Nyala api putih ditampilkan pada Gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Nyala api putih pada proses produksi pabrik (Bangkeju, 2012)

2.4.8 Api Hitam

Nyala api yang paling panas itu berwarna Hitam, dan api hitam murni yang sesungguhnya sangat jarang ditemukan di bumi. Api hitam itu bisa saja disimulasikan. Misalnya kita lihat nyala api lilin atau kompor bunsen dengan seksama, maka ada perbedaan spektrum warna di dalamnya. Nyala bunsen burner ditampilkan pada Gambar 2.9 dibawah ini.



(a) laminar (b) turbulen

Gambar 2.9 Nyala api *bunsen burner* (Bangkeju, 2012)

Bisa dilihat kalau di bagian pangkal api ada bagian kecil yang warnanya nyaris transparan, Itulah yang disebut dengan api hitam. Karena definisi warna hitam pada spektrum warna cahaya adalah sebenarnya ketiadaan cahaya, jadi kelihatannya transparan. Ini adalah bagian yang paling panas, sehingga kalau mau memanaskan reaksi kimia, tabung uji harus ditempatkan di bagian ini.

Gambar 2.10 di bawah ini adalah contoh untuk simulasi yang lebih jelas. Bisa dilihat kalau apinya seolah menggantung di atas sumbu lilin, bagian transparan itulah yang disebut api hitam.



Gambar 2.10 Nyala api lilin (Bangkeju, 2012)

Warna dari api juga bisa dibuat dengan pembakaran bahan kimia atau unsur golongan alkali / alkali tanah, contoh:

1. *Red Strontium* adalah api merah (pakai 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 part Potassium Nitrate* adalah api ungu.
7. *White Magnesium Sulfate* adalah api putih (pakai Magnesium).

2.5 Penelitian Terdahulu

Lailun Najib dan Sudjud Darsopuspito (2012) penelitian berjudul “Karakteristik Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar dan Ukuran Biomassa”. Metode yang digunakan metode eksperimental. Hasil penelitian gasifikasi tempurung kelapa mampu menghasilkan nyala api yang stabil. Semakin besar AFR, semakin kecil komposisi *flammable gas* dan LHV *Syn-gas*.

Fajri Vidian (2009) penelitian yang berjudul “Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran”. Metode yang digunakan metode eksperimental. Hasil penelitiannya menunjukkan pada variasi laju aliran udara pembakaran dapat menghasilkan gas mampu bakar. Peningkatan laju aliran udara akan meningkatkan suhu dalam reaktor, komposisi gas, dan temperatur api hasil pembakaran *syn-gas*.

Sholehul Hadi dan Sudjud Dasopuspito (2013) hasil penelitian yang berjudul Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar Terhadap Kualitas Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft dengan Suplai Biomass Serabut Kelapa Secara Kontinyu menunjukkan bahwa Nilai rasio udara-bahan bakar (Air Fuel Ratio) semakin meningkat, maka mengakibatkan penurunan nilai kandungan energi ditinjau dari Lower Heating Value *synthetic-gas*. Nilai rasio udara-bahan bakar (Air Fuel Ratio) yang terbaik ditinjau dari visualisasi nyala api yaitu pada AFR 1,31 untuk ukuran luasan serabut kelapa 10-50 mm² dan ukuran luasan sampah plastik 50-100 mm².

Angelius (2014) penelitiannya yang berjudul “Pengaruh variasi AFR terhadap temperatur dan warna api pada proses gasifikasi sistem downdraft menggunakan bahan baku sekam padi” menunjukkan bahwa semakin meningkat suplai udara maka semakin meningkat juga temperatur api. Pada AFR 1,08 temperatur api mencapai 600°C, pada AFR 1,35 temperatur api maksimum mencapai 650°C. AFR 1,62 temperatur api maksimum mencapai 750°C, sedangkan temperatur api pada AFR 1,90 temperatur api maksimum mencapai 850°C. Dengan meningkatnya variasi AFR, juga berakibat pada warna api yang dihasilkan. Semakin mendekati AFR yang optimal semakin baik kualitas *syngas*

yang dihasilkan yang ditunjukkan dengan dominan warna biru. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa AFR 1,35 merupakan penelitian dengan AFR terbaik yang ditunjukkan dengan warna api yang dominan biru pada menit menit awal.

Mohammad Tri IndraSetiadi (2015) berjudul “Pengaruh Suplai Udara Masuk Terhadap Visualisasi Nyala Api dan Tinggi Api Pada Gasifikasi Tempurung Kelapa” menggunakan metode eksperimental. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa visualisasi terbaik yaitu pada pada udara yang masuk sebesar $0,176625 \text{ m}^3/\text{s}$. hal ini dikarenakan debit udara $0,176625 \text{ m}^3/\text{s}$ merupakan suplai udara terbesar bahkan untuk nyala api tertinggi yaitu pada debit udara $0,176625 \text{ m}^3/\text{s}$. hal ini dikarenakan pada debit udara $0,176625 \text{ m}^3/\text{s}$ merupakan suplai udara terbesar, sehingga *syn gas* dan suplai udara yang keluar mempunyai campuran yang optimal. Temperatur tertinggi nyala api *syn-gas* yaitu pada debit udara tertinggi dan memiliki rata-rata temperatur sebesar $299,6\text{C}$.

2.6 Hipotesis

Hipotesis yang dibuat pada penelitian ini adalah semakin besar AFR, komposisi *flammable* gas yang dihasilkan akan semakin turun. Hal ini akan berakibat terhadap kualitas api karena semakin sedikit *flammable* gas yang dihasilkan, akan semakin sulit menghasilkan nyala api dan apabila menyala warnanya akan kuning kemerahan. Dan sebaliknya, semakin tinggi kandungan yang *flammable* maka kualitas api juga akan meningkat dengan ditandai profil warna api biru sedikit kemerahan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Metode eksperimental ini digunakan untuk mengetahui karakteristik api berupa warna api, tinggi api dan temperatur nyala api yang dihasilkan dari proses gasifikasi sistem downdraft berbahan baku tongkol jagung dengan menggunakan media gasifikasi (*gasyfaying agen*) yaitu oksigen dengan variasi kecepatan masuk suplai oksigen sebesar 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam dan 9,24 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

3. *Thermoreader* Graphtec OI200A



Gambar 3.3 Thermoreader

4. Anemometer



Gambar 3. 4. Anemometer

5. Nokia Lumia 925



Gambar 3.5 Nokia Lumia 925

6. Blower



Gambar 3.6 Blower

7. Stopwatch

8. Timbangan

3.3.2 Bahan

1. Tongkol jagung sebagai bahan gasifikasi.
2. Arang sebagai pemantik awal proses gasifikasi.
3. Oksigen sebagai media gasifikasi.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel yang tidak dipengaruhi variabel lain dan besarnya bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan masuk suplai oksigen sebesar 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam dan 9,24 kg/jam.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel yang diketahui setelah penelitian dilakukan yang diperoleh dari proses gasifikasi sistem downdraft dan besarnya tergantung dari variabel bebas.

Variabel terikat dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Warna api yang dihasilkan
2. Temperatur api yang dihasilkan
3. Tinggi api

3.5 Prosedur Penelitian

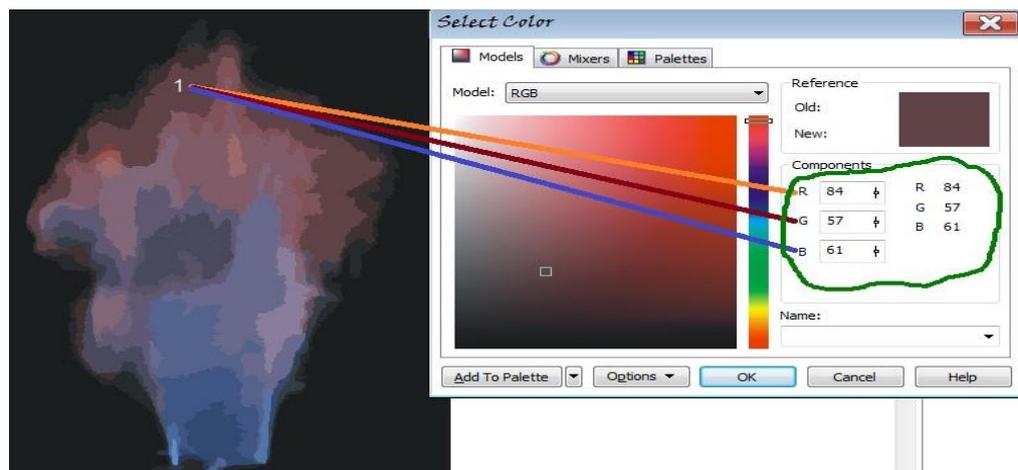
Tahapan-tahapan prosedur kerja dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan
 - a. Mempersiapkan peralatan dan komponen pendukungnya meliputi reaktor, tabung oksigen, pipa sambungan.
 - b. Mempersiapkan alat ukur yang digunakan. Termokopel dipersiapkan dengan disambungkan pada *termoreader* untuk mengukur temperatur api.
 - c. Mempersiapkan kamera yang digunakan untuk mendokumentasi karakteristik api.
 - d. Mempersiapkan tongkol jagung yang sudah dicacah dan dikeringkan terlebih dahulu.
2. Tahap Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan mengatur suplai oksigen yang masuk kedalam reaktor dengan bahan uji yang digunakan (biomassa). Tahapan pengambilan data sebagai berikut:

 - a. Menimbang berat tongkol jagung sebesar 5 kg menggunakan timbangan.
 - b. Memasukkan tongkol jagung yang telah di timbang kedalam gasifier dan tutup hingga rapat.
 - c. Menghubungkan tabung oksigen dengan *gasifier* dan memastikan tidak adanya kebocoran dalam pipa saluran oksigen antara tabung dengan *gasifier*
 - d. Arang dinyalakan dengan menggunakan blower ditempat yang terpisah.
 - e. Arang yang sudah terbakar dimasukkan kedalam gasifier pada tiga lubang pembakaran awal kemudian tutup hingga rapat.

- f. Mensuplai udara selama 30 menit untuk pemanasan awal *gasifier*.
 - g. Menghentikan suplai udara selama 5 menit dan menutup saluran masuk dan keluar *gasifier*.
 - h. Mengatur suplai oksigen dengan kecepatan masuk sebesar 5,34 kg/jam, 6,54 kg/jam, 8,04 kg/jam dan 9,24 kg/jam.
 - i. Saat flammabel gas keluar dari pipa keluaran, proses ditunggu selama 30 menit kemudian gas yang keluar melalui pipa keluaran gas dipantik hingga menyalakan api.
3. Tahap Pengambilan Data
- a. Memasang termokopel untuk mengukur temperatur api.
 - b. Menyiapkan kamera untuk dokumentasi. Hidupkan kamera pada menit ke-1 saat api mulai menyala.
 - c. Mulai hidupkan *thermoreader* dan catat temperatur api sampai api padam kemudian diolah.
 - d. Melakukan pengamatan ketinggian api menggunakan software autocad dan analisis prosentase warna api kemudian dimasukkan kedalam tabel penyajian data.
 - e. Menghitung persentase warna api yang diperoleh dari proses pengambilan foto warna api dengan cara dimasukkan kedalam software coreldraw.



Gambar 3.7 Cara Mencari Nilai Warna Api Melalui Software Coreldraw

Setelah diketahui nilai masing – masing warna kemudian disajikan dalam bentuk tabel. Cara menghitung persentase warna merah atau biru dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

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

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

N = Jumlah warna merah dan biru

4. Tahap Akhir Penelitian

- a. Mematikan alat gasifikasi
- b. Mengambil tar yang ada dipenampungan (selang)
- c. Membersihkan alat gasifikasi
- d. Merapikan kembali alat gasifikasi dan alat pengujian yang telah digunakan.

3.6 Penyajian Data Pengujian

Tabel 3.1 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 5,34 kg/jam

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)	
		Titik 1	Titik 2
1	0		
2	3		
3	6		
10	27		

Tabel 3.2 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 6,54 kg/jam

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)	
		Titik 1	Titik 2
1	0		
2	3		
3	6		
10	27		

Tabel 3.3 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)	
		Titik 1	Titik 2
1	0		
2	3		
3	6		
10	27		

Tabel 3.4 Data Distribusi Temperatur Api Variasi Suplai Oksigen 9,24 kg/jam

No	Waktu (menit)	Temperatur Api (°C)	
		Titik 1	Titik 2
1	0		
2	3		
3	6		

10	27		
----	----	--	--

Tabel 3.5 Data Tinggi Api Pada Variasi Suplai Oksigen 5,34 kg/jam

No	Menit	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	3	
3	6	
10	27	

Tabel 3.6 Data Tinggi Api Pada Variasi Suplai Oksigen 6,54 kg/jam

No	Menit	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	3	
3	6	
10	27	

Tabel 3.7 Data Tinggi Api Pada Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam

No	Menit	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	3	
3	6	
10	27	

Tabel 3.8 Data Tinggi Api Pada Variasi Suplai Oksigen 9,24 kg/jam

No	Menit	Tinggi Api (cm)
1	0	
2	3	
3	6	
10	27	

Tabel 3.9 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 5,34 kg/jam

No	Waktu (menit)	Persentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	3		
3	6		
10	27		

Tabel 3.10 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 6,54 kg/jam

No	Waktu (menit)	Persentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	3		
3	6		
10	27		

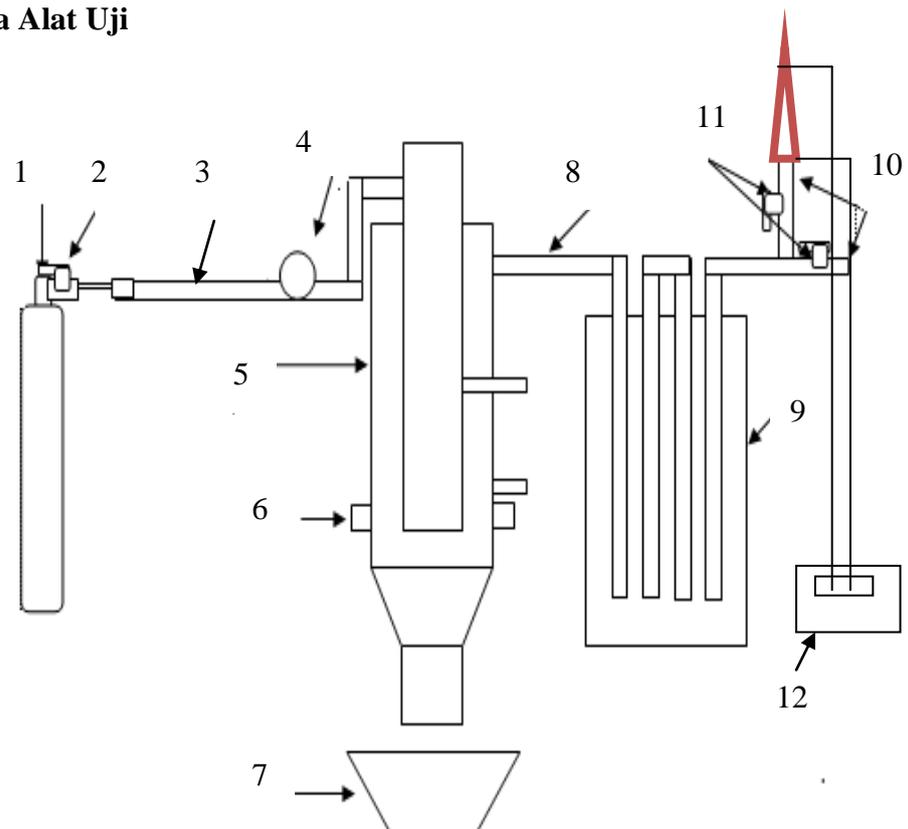
Tabel 3.11 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam

No	Waktu (menit)	Persentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	3		
3	6		
10	27		

Tabel 3.12 Data Prosentase Warna Api Variasi Suplai Oksigen 8,04 kg/jam

No	Waktu (menit)	Persentase Warna Api (%)	
		Merah	Biru
1	0		
2	3		
3	6		
10	27		

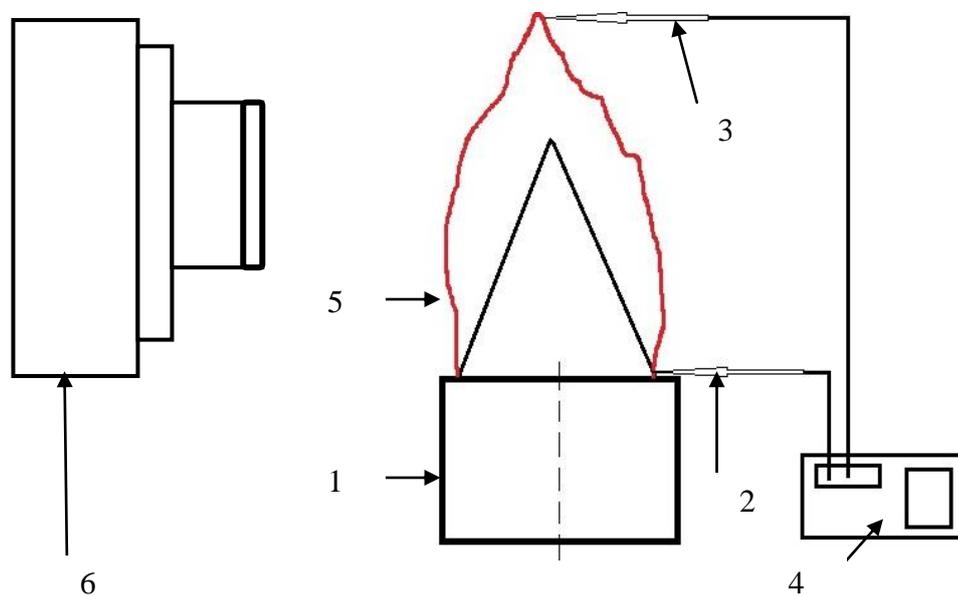
3.7 Skema Alat Uji



Gambar 3.8 Skema Alat Uji

Keterangan:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Tabung oksigen | 7. Tempat Pembuangan |
| 2. Katup | 8. Pipa keluaran <i>flammable gas</i> |
| 3. Pipa oksigen | 9. Pendingin |
| 4. Pengukur kecepatan oksigen | 10. Nossel Keluaran <i>syngas</i> |
| 5. <i>Gasifier</i> | 11. Katup |
| 6. Lubang untuk pemanasan awal | 12. <i>Thermoreader</i> |



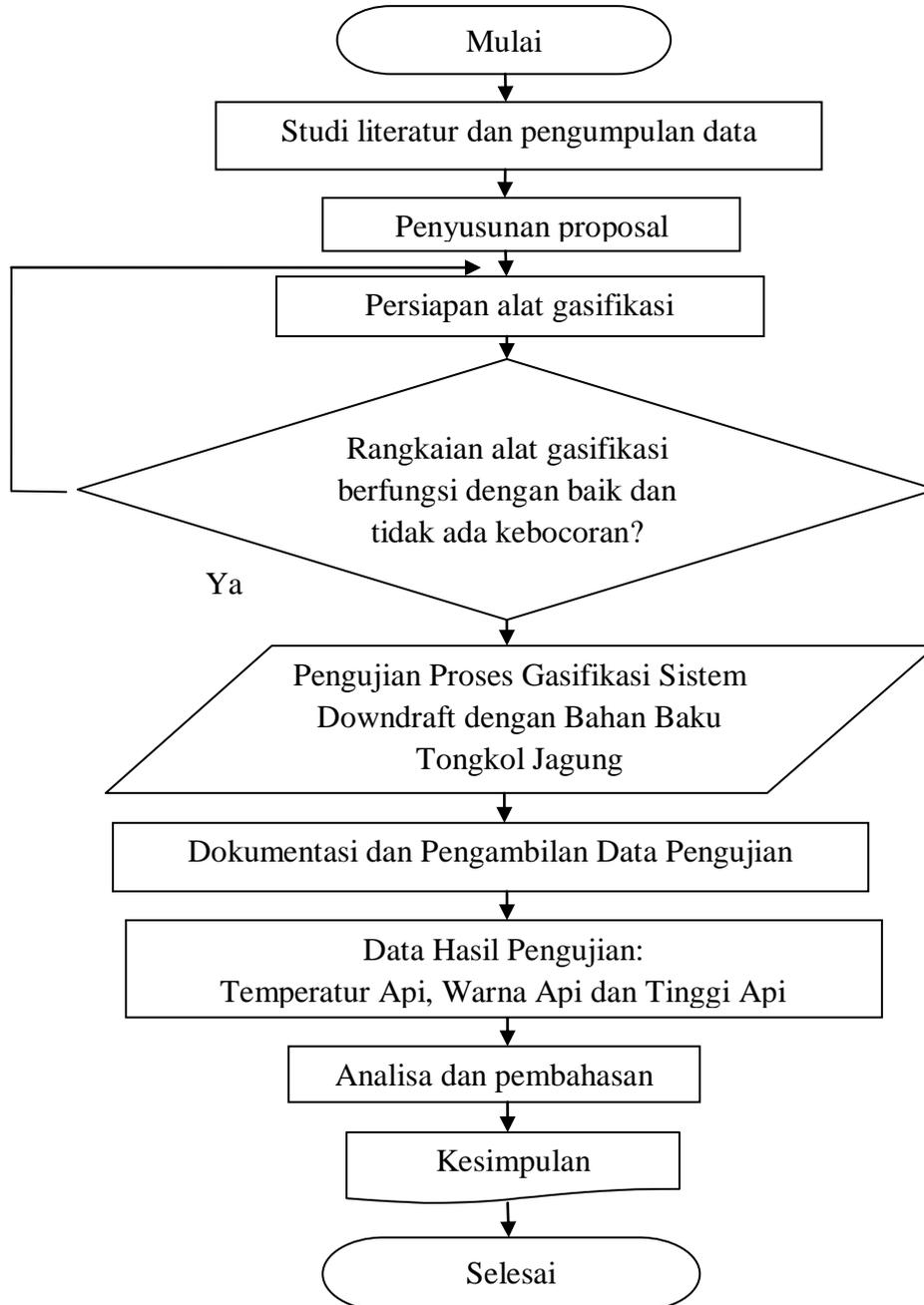
Gambar 3.9 Skema Pengukuran Temperatur Api dan Pengambilan Gambar Api

Keterangan:

1. *Nozzle* keluaran *flammable gas*
2. Termokopel untuk mengukur panas api dititik pertama
3. Termokopel untuk mengukur panas api dititik kedua
4. *Thermoreader*
5. Nyala api
6. Kamera

3.8 Diagram Alir Penelitian

Untuk prosedur penelitian disajikan dalam bentuk *flow chart* sebagai berikut



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian karakteristik api *Syn-gas*