



**VARIASI SUPLAI OKSIGEN SEBAGAI MEDIA GASIFIKASI TERHADAP  
KARAKTERISTIK TERMAL SYN-GAS BERBAHAN BAKU BIOMASSA**

**SKRIPSI**

Oleh

Setyo Pambudi

NIM. 111910101009

**PROGRAM STUDI STRATA 1 (S1)**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2015**



**VARIASI SUPLAI OKSIGEN SEBAGAI MEDIA GASIFIKASI TERHADAP  
KARAKTERISTIK TERMAL SYN-GAS 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

Setyo Pambudi

NIM. 111910101009

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

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayah dan Ibu tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dan kasih sayang , serta doa yang selalu beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Mbak Asri dan Mas Haris yang selalu memberikan semangat serta pembelajaran pembelajaran didalam keluarga;
3. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari.
4. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T. , M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Hari Arbiantara Basuki, S.T. , M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan Ilmu, saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Dr. R. Koekoeh K.W, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ahmad Adib R., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak memberi saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
6. BEDEBA TM 11 UJ, dan *Sipoet Team* yang senantiasa memberikan motivasi, semangat serta keceriaan. Semoga kalian sukses selalu dan diberi lindungan Allah SWT.
7. Serta civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

## MOTTO

“man khoraja fii tholabul’ilmi fahuwa fii sabiilillah khatta yarji’a”

“Barang siapa yang keluar untuk mencari ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang”  
(terjemahan HR. Turmudzi)\*

“sebuah ilmu tidak akan menarik jika yang diketahui hanya luarnya saja”  
(Setyo Pambudi)

“Kita berada di Negara berkembang, jadi harus pintar-pintar memanfaatkan apa yang ada”  
(Aris Zainul Muttaqin)

\*[http://m.facebook.com/kurmamotivation/post/558822584159570?\\_e\\_pi\\_=7%2CPAGE\\_ID10%2C65508382595](http://m.facebook.com/kurmamotivation/post/558822584159570?_e_pi_=7%2CPAGE_ID10%2C65508382595)

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Setyo Pambudi

NIM : 111910101009

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “VARIASI SUPLAI OKSIGEN SEBAGAI MEDIA GASIFIKASI TERHADAP KARAKTERISTIK TERMAL SYNGAS 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, 2015

Yang menyatakan,

(Setyo Pambudi)

NIM 111910101009

# **SKRIPSI**

## **VARIASI SUPLAI OKSIGEN SEBAGAI MEDIA GASIFIKASI TERHADAP KARAKTERISTIK TERMAL SYN-GAS BERBAHAN BAKU BIOMASSA**

Oleh

Setyo Pambudi  
NIM 111910101009

Pembimbing:

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

Dosen Pembimbing Anggota : Hari Arbiantara B, S.T, M.T.



## RINGKASAN

**Variasi Suplai Oksigen Sebagai Media Gasifikasi Terhadap Karakteristik Termal Syn-Gas Berbahan Baku Biomassa;** Setyo Pambudi, 111910101009; 2015; 40 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Gasifikasi biomassa adalah konversi dari bahan bakar padat dan residu pertanian menjadi campuran gas mampu bakar. Campuran utama gas yang mudah terbakar dari hasil gasifikasi adalah carbon monoksida (CO), Hidrogen (H<sub>2</sub>), dan Metana (CH<sub>4</sub>). Factor yang mempengaruhi proses gasifikasi antarlain properties biomassa, desain reaktor, jenis media gasifikasi, dan rasio bahan bakar dan udara. Media gasifikasi yang sering digunakan dalam proses gasifikasi adalah udara, uap, dan oksigen.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh suplai oksigen sebagai media gasifikasi terhadap komposisi, CO dan CH<sub>4</sub> dari syn-gas yang dihasilkan dan mengetahui nilai kalor terendah (LHV) terhadap syn-gas yang dihasilkan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, metode eksperimental ini digunakan untuk mengetahui komposisi syngas dari gasifikasi tipe *downdraft* berbahan baku tongkol jagung dengan menggunakan media gasifikasi oksigen dengan variasi kecepatan masuk media gasifikasi. Metode eksperimental yang dilakukan adalah memfariasikan suplai oksigen dengan debit 0.0884 kg/min, 0.109 kg/min, 0.134 kg/min dan 0.154 kg/min.

Dari hasil penelitian ini didapat suplai oksigen yang paling optimal untuk menghasilkan syn-gas adalah 0.31 kg/min dengan kandungan CO sebesar 23.2% dan CH<sub>4</sub> sebesar 0.689% dengan nilai kalor terendah (LHV) sebesar 3006.96 kJ/m<sup>3</sup>.

## **SUMMARY**

***oxygen supply variation as gasifying agent for thermal characteristic syngas made from biomass***; Setyo Pambudi. 111910101009; 40 Pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.

*Biomass gasification is the conversion of solid fuels and agricultural residues into flammable syn-gas. The main mixture of flammable syn-gas from gasification is carbon monoxide (CO), hydrogen (H<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>). Affecting factors of biomass gasification process is biomass properties, reactor design, gasifying agent, and the ratio of fuel and air. Gasifying agent is often used in the gasification process is air, steam, and oxygen.*

*The aim of this study was to determine the effect of oxygen supply to the composition as a gasifying agent, CO and CH<sub>4</sub> from the syn-gas produced and determine the lowest heating value (LHV) of the syn-gas produced.*

*The method used in this study is the experimental method, experimental method is used to determine the composition of the type of downdraft gasification syngas from raw material corn cobs using oxygen as gasifying agent with discharge variation speed. The experimental method does is variation gasifying agent to the discharge of 0.0884 kg/min, 0109 kg/min, 0134 kg/min and 0154 kg/min.*

*From this research we obtained the most optimal oxygen supply to produce syn-gas is 0.31 kg/min with a content of 23.2% CO and CH<sub>4</sub> at 0689% with the lowest heating value (LHV) of 3006.96 kJ/m<sup>3</sup>.*

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Variasi Suplai Oksigen sebagai Media Gasifikasi terhadap Karakteristik Termal *Syn-Gas* Berbahan Baku Biomassa”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dalam hidup ini.
2. Bapak dan Ibu yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam hal mendidik, mengarahkan, memberi nasehat demi kehidupan penulis yang lebih baik, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, materi, dan yang terpenting adalah doa yang selalu beliau haturkan setiap saat untuk penulis dan keluarga.
3. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T. , M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Hari Arbiantara Basuki, S.T. , M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak Dr. R. Koekoeh K.W, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ahmad Adib R., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
6. Tim Gasifikasi A'isyatul khoiriyah dan Kiki Ermawati yang telah bekerjasama dalam penyelesaian pengambilan data.
7. Seluruh teman – teman TM 11 Universitas Jember.

8. Teman-teman *Sipoet team*.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

Jember, 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>PEMBIMBING</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat</b> .....	3
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Biomassa</b> .....	4
2.1.1 Produk Biomassa .....	4
2.1.2 Karakteristik Tongkol Jagung .....	4
<b>2.2 Gasifikasi</b> .....	6
2.3.1 Tipe Gasifier.....	6
2.3.1 Proses Gasifikasi .....	8

<b>2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi .....</b>	<b>10</b>
2.3.1 Properties Biomassa .....	10
2.3.2 Desain Reaktor .....	12
2.3.3 Jenis Media Gasifikasi .....	12
2.3.4 Rasio Bahan Bakar dan Udara .....	14
<b>2.8 Hipotesis .....</b>	<b>16</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Metode Penelitian .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan .....</b>	<b>16</b>
3.3.1 Alat .....	16
3.3.2 Bahan .....	18
<b>3.4 Variabel Penelitian .....</b>	<b>19</b>
3.4.1 Variabel Bebas .....	19
3.4.2 Variabel Terikat.....	19
<b>3.5 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>19</b>
3.5.1 Tahapan Penelitian .....	19
3.5.2 Tahapan Pengambilan Data .....	20
<b>3.6 Skema Alat Uji .....</b>	<b>25</b>
<b>3.7 Diagram alir Penelitian .....</b>	<b>26</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Hasil Penelitian .....</b>	<b>27</b>
4.1.1 Distribusi Temperatur Reaktor Gasifikasi .....	27
4.1.2 Data Nilai AFR dengan Variasi Suplai Oksigen .....	30
4.1.3 Komposisi Syn-gas .....	32
4.1.4 Nilai Kalor Syn-gas .....	32
<b>4.2 Analisa dan Pembahasan .....</b>	<b>33</b>
4.2.1 Analisa Distribusi Temperatur Reaktor .....	33

4.2.2 Analisa Komposisi Syn-gas pada Variasi Suplai Oksigen .....	36
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>38</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>40</b>

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
<b>Gambar 2.1</b> <i>gasifier tipe downdraft</i> .....	7
<b>Gambar 2.2</b> <i>gasifier tipe updraft</i> .....	7
<b>Gambar 2.3</b> <i>gasifier tipe crossdraft</i> .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Zona proses gasifikasi <i>gasifier tipe updraft</i> .....	8
<b>Gambar 2.5</b> grafik komposisi <i>syn-gas</i> .....	15
<b>Gambar 2.6</b> grafik hubungan nilai AFR dan nilai kalor.....	15
<b>Gambar 3.1</b> <i>Downdraft Gasifier</i> .....	16
<b>Gambar 3.2</b> Kabel Termokopel Tipe-K .....	17
<b>Gambar 3.3</b> <i>Thermoreader</i> .....	17
<b>Gambar 3.4</b> <i>Anemometer</i> .....	17
<b>Gambar3.5</b> <i>Gas analyzer</i> .....	18
<b>Gambar3.6</b> Blower .....	18
<b>Gambar 3.7</b> Skema Alat Uji .....	25
<b>Gambar 3.8</b> Diagram Alir Penelitian .....	26
<b>Gambar 4.1</b> Titik T1 dan T2 dalam gasifier.....	27
<b>Gambar 4.2</b> Grafik distribusi temperatur reaktor T1 .....	33
<b>Gambar 4.3</b> Grafik distribusi temperatur reaktor T2 .....	34
<b>Gambar 4.4</b> grafik komposisi <i>syn-gas</i> berdasarkan suplai oksigen .....	36
<b>Gambar 4.5</b> grafik nilai kalor LHV berdasarkan perbandingan udara dan bahan bakar (AFR) .....	37

## DAFTAR TABEL

### HALAMAN

<b>Tabel 2.1</b>	Hasil Pengujian Kandungan Tongkol Jagung .....	5
<b>Tabel 2.2</b>	Rentang <i>heating value syn-gas</i> dengan berbagai jenis media .....	13
<b>Tabel 2.3</b>	perbandingan komposisi <i>syn-gas</i> antara <i>gasyfaying</i> udara dan oksigen dengan berbagai bahan.....	13
<b>Tabel 4.1</b>	Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0.0884 kg/min.....	28
<b>Tabel 4.2</b>	Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0.109 kg/min.....	28
<b>Tabel 4.3</b>	Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0.134 kg/min.....	29
<b>Tabel 4.4</b>	Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0.154 kg/min.....	29
<b>Tabel 4.5</b>	Data Nilai AFR ( <i>Air Fuel Ratio</i> ) pada variasi suplai oksigen .....	31
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil Pengujian Komposisi <i>Syn-gas</i> dengan variasi suplai oksigen	32
<b>Tabel 4.7</b>	Data Nilai Kalor <i>Syn-gas</i> dengan Variasi Uplai Oksigen Masuk .	33

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Dengan kenaikan rata-rata 4,7 % per tahun, konsumsi energi final Indonesia pada tahun 2011 mencapai 1.116,1 juta Setara Barel Minyak (SBM). Bahan bakar minyak masih mendominasi konsumsi energi final Indonesia hingga tahun 2011 dengan pangsa 32,7%, diikuti oleh biomassa 25,1%, batubara 13 %, gas bumi 10,8%, listrik 8,8%, dan sisanya disumbang oleh LPG, produk BBM lainnya, dan briket (Kajian Indonesia energy outlook, 2011).

Banyak energi alternatif atau energi baru terbarukan (EBT) saat ini yang mulai dimanfaatkan. Contoh pemanfaatan energi alternatif atau energi baru terbarukan (EBT) adalah pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit listrik, pemanas air, pemasakan makanan, energi angin dan lain sebagainya. Pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif sudah mulai berjalan namun ketergantungan Indonesia terhadap minyak masih dominan yaitu mencapai 49,7% sementara pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) masih sekitar 6% (Kajian Indonesia energy outlook, 2011).

Biomassa adalah material tumbuh tumbuhan yang berasal dari reaksi antara  $CO_2$  diudara, air dan cahaya matahari, untuk membuat karbohidrat melalui proses *photosintesis* dimana untuk menumbuhkan kayu (biomassa) itu sendiri. (Mckendry, 2001). Biomassa akan lebih cepat tumbuh dan berganti dibandingkan dengan fosil yang membutuhkan waktu yang sangat lama untuk menjadi bahan bakar. Biomassa juga adalah energi baru terbarukan (EBT). Ketersediaan biomassa di Indonesia sangat melimpah. Salah satu biomassa yang banyak ditemukan di Indonesia adalah jagung. Jagung biasanya dimanfaatkan sebagai bahan makanan namun pemanfaatan tongkol jagung masih sangat sedikit. Tongkol jagung biasanya dibuang begitu saja. Produksi

jagung propinsi jawa timur pada tahun 2013 sebesar 5,76 juta ton sedangkan tahun 2014 diramalkan produksi jagung jawa timur sebesar 5,77 juta ton (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2014).

Gasifikasi biomassa adalah konversi dari bahan bakar padat dan residu pertanian menjadi campuran gas mampu bakar. Campuran utama gas yang mudah terbakar dari hasil gasifikasi adalah carbon monoksida (CO), Hidrogen (H), dan Metana ( $CH_4$ ) (Muze, 2012).

Data dari penelitian sebelumnya didapatkan bahwa komposisi *syn-gas* mampu bakar dengan menggunakan reaktor gasifikasi *type downdraft* satu saluran udara masuk dengan *gasyfaying agent* udara dan bahan baku sekam padi pada variasi kecepatan udara masuk 0,8 m/s, 1,0 m/s, 1,2 m/s, dan 1,4 m/s mencapai nilai tertinggi pada kecepatan udara masuk 1,0 m/s dengan komposisi  $CH_4$  12,90 % CO 12,50 %  $H_2$  5,78 %. Komposisi *syn-gas* mampu bakar tertinggi pada kecepatan 1,0 m/s menghasilkan nilai LHV *syn-gas* tertinggi sebesar 5051,244 KJ/m<sup>3</sup> (Diaz, 2014). Peneliti yang lain juga mengatakan dengan menggunakan reaktor gasifikasi dua stage dengan menggunakan *gasyfaying agent* berupa udara, hasil yang didapatkan adalah bahan bakar gas dapat diproduksi dengan produksi rata rata sekitar  $3Nm^3/Kg$  biomassa dan nilai kalor pembakaran 5000 KJ/Nm<sup>3</sup>. Konsentrasi hidrogen 9,27 % , karbon monoksida 9,25 % , dan metana 4,21 % (Cao, 2005). Salah satu yang berpengaruh pada kandungan *syn-gas* adalah *gasyfaying agent* . *Gasyfaying agent* utama yang digunakan dalam gasifikasi adalah oksigen, uap, dan udara. Potensi pengaruh *gasyfaying agent* dengan nilai kalor dari yang terendah hingga tertinggi adalah udara, uap, oksigen. Jika menggunakan *gasyfaying agent* udara nilai kalor dapat mencapai 4 – 7 MJ/Nm<sup>3</sup>, Uap 10 – 18 MJ/Nm<sup>3</sup>, sedangkan oksigen 12 – 28 MJ/Nm<sup>3</sup> (Basu, 2010).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi suplai oksigen sebagai media gasifikasi terhadap komposisi,  $CO$ , dan  $CH_4$  dari syngas yang dihasilkan pada gasifier tipe downdraft.
2. Berapa nilai kalor (LHV) terhadap syn-gas yang dihasilkan.

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang akan dibahas adalah:

- a. Mengetahui pengaruh variasi suplai oksigen sebagai media gasifikasi terhadap komposisi,  $CO$ , dan  $CH_4$  dari syn-gas yang dihasilkan.
- b. Mengetahui nilai kalor (LHV) terhadap syn-gas yang dihasilkan.

## 1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai pedoman pengembangan teknologi gasifikasi biomassa yang ramah lingkungan serta memberikan kontribusi tentang referensi pemanfaatan biomassa sebagai sumber bahan bakar.

## 1.5 Batasan Masalah

Untuk mengetahui dan memberikan gambaran mengenai masalah-masalah apa saja yang akan dibahas pada penelitian ini. Maka perlu diberikan batas pembahasan yang nantinya akan terfokus pada masalah.

Adapun batasannya adalah sebagai berikut:

1. Temperatur oksigen adalah temperatur normal gas oksigen dalam tabung.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biomassa

Biomassa adalah material tumbuh - tumbuhan yang berasal dari reaksi antara  $CO_2$  diudara, air dan cahaya matahari, untuk membuat karbohidrat melalui proses fotosintesis dimana untuk menumbuhkan kayu (boimassa) itu sendiri. (Mckendry, 2001). Biomassa juga dapat diartikan sebagai material organik atau material non fosil yang berasal dari tumbuhan hewan dan mikro organisme.

Sebagai energi terbarukan yang berkelanjutan, biomassa terus-menerus terbentuk dari interaksi antara  $CO_2$ , udara, air, tanah dan cahaya matahari dengan tumbuh-tumbuhan dan hewan. Setelah sebuah organisme mati, mikro organisme membongkar biomassa menjadi elmen-elmen atau unsur-unsur energi yang potensial seperti  $H_2O$  dan  $CO_2$ . Dan pembakaran biomassa tidak meningkatkan total jumlah  $CO_2$  yang dimiliki bumi *green house gas natural* (GHG) (Mckendry, 2001).

#### 2.1.1 Produk Biomassa

Biomassa dapat dikonversi menjadi berbagai jenis bahan bakar. Tiga-tipe utama bahan bakar dari biomassa adalah :

- a. Bahan bakar cair ( Etanol, Biodisel, methanol, *Vegetable oil* dan *phyrolysis oil*).
- b. Bahan bakar gas ( Biogas, Producer Gas, Syngas, Substitute natural gas).
- c. Bahan bakar padat (Briket arang) .

#### 2.1.2 Karakteristik Tongkol Jagung

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah pertanian yang melimpah. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur tahun 2014 mengatakan produksi jagung propinsi jawa timur pada tahun 2013 sebesar 5,76 juta ton sedangkan tahun 2014 diramalkan produksi jagung jawa timur sebesar 5,77 juta ton atau meningkat 0,01 juta ton. Sedangkan di kabupaten jember produksi dari tahun 2008 sampai 2012 terus

mengalami peningkatan. Produksi tahun 2008 sebesar 247.481 ton, 2009 sebesar 329.580 ton, 2010 sebesar 360.153 ton, 2011 sebesar 404.403 ton, 2012 sebesar 418.141 ton.

Unsur komponen-komponen yang tersusun dalam tongkol jagung dapat diketahui dari beberapa analisis seperti *fiber analysis*, *elemental analysis* dan *proximate analysis*. Dari beberapa pengujian tersebut komponen komponen dalam tongkol jagung dapat diketahui seperti pada tabl 2.1.

Table 2.1 Hasil Pengujian Kandungan Tongkol Jagung

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 kg <sup>-1</sup> )	-	18,1

Sumber: Jau Jang Lu dan Wei-Hsin Chen, 2014

Dari table 2.1 diketahui bahwa tongkol jagung memiliki carbon C 42,0 %, Hidrogen H 6,7%, Nitrogen N 1,5 %, dan Oksigen O 48,1 %. Dalam pengujian *proximate analysis* tongkol jagung memiliki kelembapan 14,1%, *Volatile matter* (VM) atau zat terbang yang muncul akibat pembakaran pada suhu tertentu dan waktu tertentu 68,5%, *Fixed carbon* (FC) 15,9%, abu (*ash*) 1,5 %. Untuk nilai kalor pembakaran atas tongkol jagung sebesar 18,1 MJ kg<sup>-1</sup>.

## 2.2 Gasifikasi

Gasifikasi dan pembakaran merupakan dua proses termokimia yang berdekatan, namun ada perbedaan yang sangat penting antar keduanya. Gasifikasi mengumpulkan energi kedalam ikatan kimia dalam produk gas, sedangkan pembakaran memutuskan ikatan untuk melepaskan energi. Proses gasifikasi menambahkan hidrogen dan karbon dari *feedstock* untuk memproduksi gas dengan lebih banyak hidrogen dalam carbon (H/C) rasio, sementara pembakaran adalah proses oksidasi hidrogen dan karbon dan akan menjadi air dan karbon dioksida, berturut turut (Basu,2010).

Proses gasifikasi berlangsung pada reaktor yang disebut *gasifier* dengan cara membakar biomassa didalam *gasifier* dengan mengalirkan media gasifikasi (*gasyfaying agent*) secara teratur agar tidak terjadi pembakaran yang sempurna. Produk pembakaran dari pembakaran sempurna biomassa umumnya mengandung nitrogen, uap air, karbon dioksida dan oksigen yang berlebih. Namun dalam proses gasifikasi dimana bahan bakar padat (biomassa) dikondisikan berlebih atau pembakaran atau pembakaran dikondisikan tidak lengkap akan menghasilkan gas mampu bakar seperti karbon monoksida ( $CO$ ), hidrogen ( $H_2$ ), metana, dan beberapa produk yang tidak berguna seperti tar dan debu.

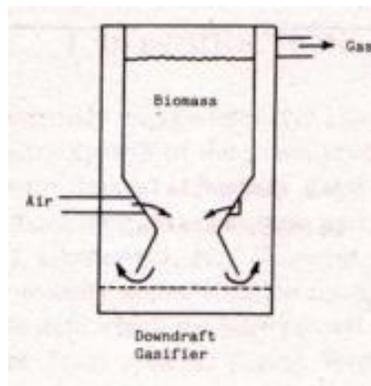
### 2.2.1 Tipe Gasifier

Karena terjadi interaksi antara *gasyfaying agent* dengan biomassa didalam *gasifier* maka jenis - jenis *gasifier* dapat dibedakan berdasarkan arah aliran *gasyfaying agent* kedalam *gasifier*. Klasifikasi *gasifier* berdasarkan arah aliran *gasyfaying agent* kedalam *gasifier* dapat dibedakan menjadi tiga jenis antara lain:

#### a. *Downdraft*

Pada 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

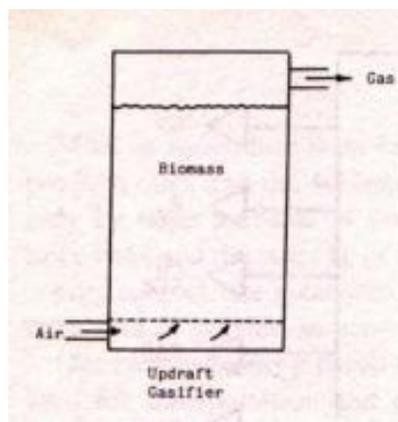
atas *gasifier* tertutup maka *Gasyfaying agent* turun melewati biomassa dan keluar ke ruang bagian luar *gasifier* sudah berupa gas mampu bakar. Bagian luar *gasifier* terdapat lubang saluran keluar gas mampu bakar yang biasanya berada di atas *gasifier*.



Gambar 2.1 *gasifier* tipe *downdraft* (Sumber: Anil K. Rajvanshi, 2014))

b. *Updraft*

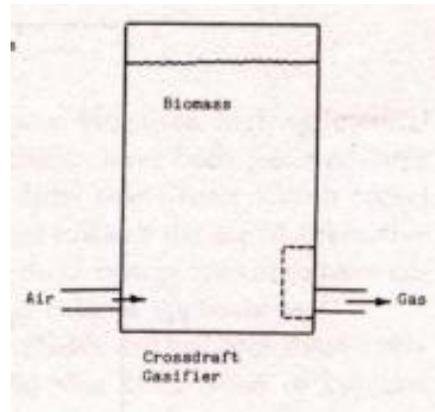
Pada *gasifier* tipe *updraft* hanya terdapat satu ruangan. *Gasyfaying agent* dihembuskan dari bagian bawah *gasifier*, melewati biomassa dan gas mampu bakar keluar *gasifier* dari bagian atas *gasifier*.



Gambar 2.2 *gasifier* tipe *updraft* (Sumber: Anil K. Rajvanshi, 2014))

c. *Crossdraft*

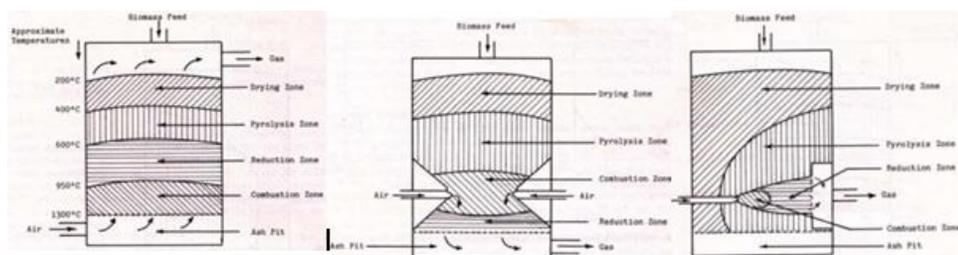
*Gasyfaying agent* dihembuskan dari salah satu sisi dari *gasyfaying agent*. Lubang keluar gas mampu bakar berada segaris dengan lubang masuk *gasyfaying agent*.



Gambar 2.3 gasifier tipe *crossdraft* (Sumber: Anil K. Rajvanshi, 2014))

## 2.2.2 Proses Gasifikasi

Pada proses gasifikasi terdapat 4 tahapan untuk mengkonversi bahan bakar padat (biomassa) menjadi gas mampu bakar (*flammable syn-gas*) yaitu antara lain *Drying of fuel* (pengeringan bahan baku), *Pyrolysis*, *Combustion* (Oksidasi), *Reduction* (Gasifikasi). Meskipun ada tumpang tindih dari proses, dapat di asumsikan masing masing proses menempati zona masing-masing dimana proses kimia dan proses termal secara fundamental berlangsung.



Gambar 2.4 Zona proses gasifikasi gasifier tipe *updraft* (Sumber: Anil K. Rajvanshi, 2014))

a. *Drying of fuel* dan *pyrolysis*

Bahan bakar dikeringkan oleh gas panas dalam *gasifier*, sehingga kelembapan komponen berubah seiring dengan meningkatnya suhu.



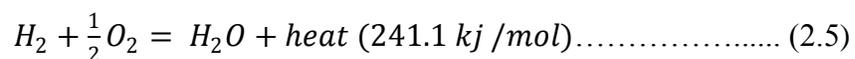
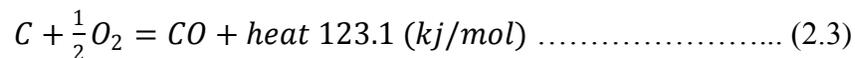
Temperatur dari *dry fuel* terus meningkat sampai sekitar 300 – 400°C, *pyrolysis* berlangsung dan bahan bakar kering berubah menjadi *char* dan *volatile*.

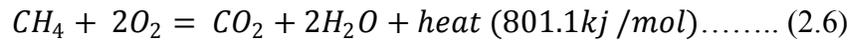


Bergantung pada biomassa dan *gasifier*, *volatile* dapat mencakup  $\text{H}_2, \text{CO}, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{H}_2\text{S}, \text{NH}_3$ , beberapa orifin, aromatic, tar dan jelaga. *Char* adalah partikel padat yang terdiri dari bahan organik (karbon) dan anorganik (debu). Karena tingkat pemanasan yang tinggi dalam *gasifier*, pengeringan dan *pyrolysis* berlangsung secara simultan dan hampir bersamaan.

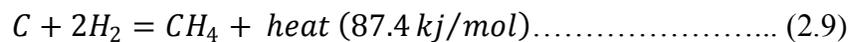
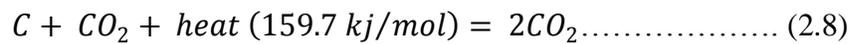
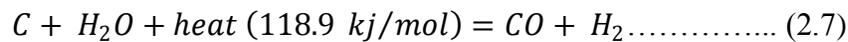
b. *Combustion* Oksidasi dan *reduction* gasifikasi

Pada dasarnya proses gasifikasi adalah memasukkan oksigen kedalam *gasifier* dengan jumlah yang terbatas sehingga, dengan demikian energi panas untuk reaksi gasifikasi disediakan dengan mengoksidasi produk hasil *pyrolysis*. Reaksi utama berlangsung ketika produk *pyrolysis* terbakar.





Ketika suhu partikel yang masih melebihi sekitar 600 – 700°C, partikel-partikel akan dapat digasifikasi oleh  $H_2O$  dan  $CO_2$ . Pada tekanan tinggi partikel-partikel juga akan dapat gasifikasi dari  $H_2$ . dibandingkan dengan *pyrolysis* dan oksidasi reaksi gasifikasi heterogen lebih lambat dan reaksi gasifikasi utama dapat digambarkan sebagai berikut:



Reaksi (2.10) adalah reaksi perubahan air ke gas, yang sangat penting karena untuk mengubah rasio  $H_2/CO$  dan reaksi (2.11) adalah reaksi metanasi atau pemroduksian metan yang diharapkan produk metan dihasilkan dalam jumlah yang besar (Ke Qin 2012).

## 2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

### 2.3.1 Properties Biomassa

Tidak semua biomassa baik untuk dikonversi menjadi gas mampubakar (*flammable syn-gas*) dengan cara gasifikasi. Biomassa dapat diklasifikasikan baik atau tidak baik untuk dikonversi menjadi gas mampu bakar (*flammable syn-gas*) dapat dilihat dari beberapa parameter yaitu:

#### a. Kandungan energi

Setiap biomassa memiliki kandungan energi yang berbeda beda. Energy dalam biomassa akan mempengaruhi energi produk *flammable syn-*

*gas*. Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomassa akan semakin tinggi pula energi produk gas yang dihasilkan.

b. Kadar air

Kandungan air pada bahan biomassa tergantung pada jenis biomassa namun untuk pengkondisian kandungan air dalam biomassa dapat dikurangi dengan cara pengeringan. Kandungan air dalam biomassa dapat mengganggu proses gasifikasi. Kandungan air dapat mengurangi energi panas dalam gasifier karena harus menguapkan air pada biomassa. Uap air yang terbentuk  $H_2O_{(gas)}$  juga akan bereaksi dengan produk gas yang dihasilkan sehingga kandungan air biomassa juga mempengaruhi produk *flammable syn-gas*. Kandungan air biomassa dalam gasifikasi umumnya harus dibawah 20%.

c. Debu

Pada semua proses pembakaran biomassa akan menghasilkan debu. Debu harus dikeluarkan secara rutin dalam gasifier karena dapat menyumbat *gasyfaying agen* ataupun gas pembakar yang akan keluar *gasifier*. Setiap pengeluaran debu dari *gasifier* harus menghentikan proses gasifikasi. Sehingga tidak akan efisien jika selama proses berlangsung harus mengeluarkan debu dalam beberapa waktu.

d. Tar

Tar adalah campuran hidrokarbon dan karbon bebas yang diperoleh dari pembakaran biomassa, tar berbentuk cair kental dan berwarna hitam. Dalam proses gasifikasi tar dapat menyumbat saluran gas. Jika *syn-gas* yang banyak mengandung tar digunakan untuk bahan bakar motor bensin, tar dapat merusak ruang bakar karena tar bersifat korosif.

### 2.3.2 Desain Reaktor

Terdapat berbagai jenis gasifier yang pernah dibuat untuk gasifikasi biomassa. Desain reaktor berpengaruh karena dalam proses gasifikasi terdapat interaksi antara gasyfaying agent dengan bahan bakar. Letak interaksi antara bahan bakar dengan gasyfaying agent akan mempengaruhi letak tahapan proses dalam gasifier dan berpengaruh terhadap efisiensi thermal, pressure drop, kandungan tar yang dihasilkan dan akan berpengaruh pada gas mampu bakar yang dihasilkan.

### 2.3.3 Jenis Media Gasifikasi

Salah satu yang berpengaruh dalam gasifikasi adalah media gasifikasi (*gasyfaying agent*). *Gasyfaying agent* utama yang sering digunakan adalah oksigen  $O_2$ , uap air  $H_2O$ , dan udara. Jika *gasyfaying agent* yang digunakan adalah oksigen  $O_2$  dan ketika oksigen yang disuplai kurang, maka produk yang dihasilkan adalah  $CO$  dan ketika oksigen yang diberikan berlebih akan ketika menghasilkan  $CO_2$ . Jika jumlah oksigen  $O_2$  yang diberikan melebihi keadaan stoikiometri maka proses gasifikasi akan bergeser menjadi pembakaran biasa dan produk yang dihasilkan adalah gas sisa (*flue gas*). Tidak satupun *flue gas* dapat dibakar kembali meskipun dilakukan perlakuan seperti seperti perlakuan panas.

Jika yang digunakan untuk *gasyfaying agent* adalah uap air  $H_2O$  maka produk gas akan berisi lebih banyak hidrogen per unit karbon. Jika udara yang digunakan untuk *gasyfaying agent* maka nitrogen akan sangat melemahkan produk gas karena udara mengandung kurang lebih 79 % nitrogen dan oksigen  $O_2$  21 % (fraksi mol atau volume). Pilihan dari *gasyfaying agent* akan memberikan pengaruh pada nilai kalor pembakaran (*heating value*) dari gas (Basu,2010).

Table 2.2 Rentang *heating value syn-gas* dengan berbagai jenis media (*gasyfaying agent*)

<i>Medium</i>	<i>Heating value (Mj/Nm<sup>3</sup>)</i>
<i>Air</i>	4-7
<i>Steam</i>	10-18
<i>Oxygen</i>	12-28

*Sumber: Prabir Basu, 2010*

Gasyfaying agen yang menghasilkan heating value yang terbesar adalah Oxygen di ikuti dengan uap air dan terakhir udara. Udara menghasilkan heating value rendah karena udara mengandung 79 % nitrogen. Penelitian yang lain juga membuktikan bahwa nilai calorific value (CV) antara syn-gas hasil gasifikasi dengan menggunakan gasyfaying agent oksigen lebih besar dibandingkan dengan gasyfaying agent udara.

Table 2.3 perbandingan komposisi *syn-gas* antara *gasyfaying* udara dan oksigen dengan berbagai bahan

Feedstock	Gasifying Agent	Syngas composition( % mole)						CV(MJ/kg)
		H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
Indian coal	Air	8.8	41.8	0.623	0.018	17.3	32	12.59
	Oxygen	15.3	60.1	0.003	0.492	0.23	0.8	19.55
Rice Husk	Air	22.9	18.4	13.0	8.3	0.8	36.6	5.49
	Oxygen	36.5	21.8	20.2	19.9	0.6	0.4	9.14
Wood pellets	Air	32.1	29.8	7.9	5.7	0.9	23.6	9.22
	Oxygen	4.07	37.8	11.3	8.1	1.7	0.9	13.19

*Sumber: Vaijanath N. Raibhole dan Sapali SN,2012*

Calorific value (CV) adalah total panas pembakaran suatu bahan bakar yang dapat diukur dengan cara membakar sejumlah volume gas dalam calorimeter.

### 2.3.4 Rasio Bahan Bakar dan Udara

Rasio bahan bakar dengan udara sangat berpengaruh terhadap komposisi *flammable syn-gas*. Penelitian sebelumnya dengan menggunakan tempurung kelapa semakin besar AFR, semakin kecil komposisi *flammable gas* dan LHV *syn-gas* (Najib L, 2012).

Berdasarkan kecepatan udara masuk, rasio bahan bakar dan udara dalam *gasifier* dapat dihitung dengan persamaan:

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{biomassa}}$$

Dimana:

$m_{udara}$  = massa udara yang dialirkan selama proses gasifikasi (kg)

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

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

$$m_{udara} = \rho_{udara} \times v_{udara} \times A_{pipa} \text{ (kg)}$$

Nilai kalor gas dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (Anil Kr, 2003 dalam Najib L, 2012):

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

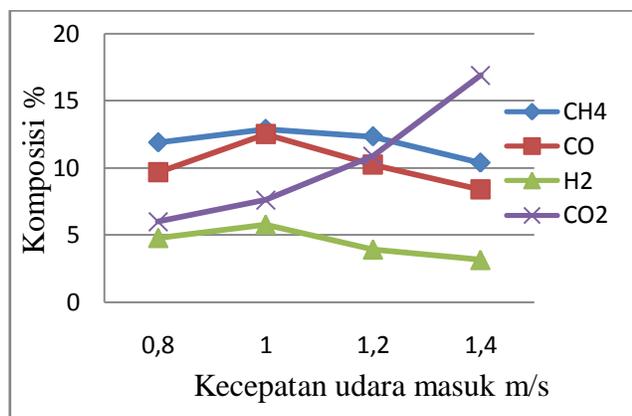
Dimana:

$Y_i$  = konsentrasi gas yang terbakar

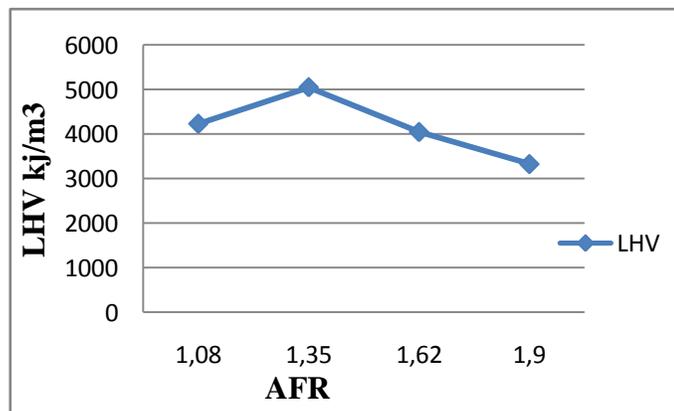
$LHV_i$  = nilai kalor bawah dari gas terbakar

Penelitian yang lain menjelaskan dengan menggunakan *gassifier* tipe *downdraft* dengan bahan baku sekam padi dan *gasyfaying agent* udara bahwa semakin tinggi kecepatan udara semakin menaikkan kandungan gas CO. kandungan

gas CO tertinggi dicapai pada kecepatan udara masuk 1,0 m/s yaitu 12,5 %, Komposisi  $CH_4$  tertinggi 12,90% pada kecepatan udara masuk 1,0 m/s, Komposisi  $H_2$  tertinggi pada kecepatan udara masuk 1,0 m/s yaitu 5,78 %. Didapatkan nilai kalor (LHV) syn-gas tertinggi pada kecepatan udara masuk 1,0 m/s dengan nilai lkalor (LHV) 5051,244  $\text{kJ}/\text{m}^3$ . Pada kecepatan udara masuk sebesar 1,0 m/s nilai AFRnya adalah 1,35 (Diaz M, 2014).



Gambar 2.5 grafik komposisi syn-gas berdasarkan kecepatan udara masuk (Sumber: Diaz M, 2014)



Gambar 2.6 grafik hubungan nilai AFR dan nilai kalor (LHV) syn-gas (Sumber: Diaz M, 2014)

## 2.4 Hipotesis

Hipotesis yang dapat dibuat adalah semakin meningkat debit oksigen yang diberikan, jumlah komposisi *flammable syn-gas* akan meningkat. Semakin tinggi komposisi *flammable syn-gas* nilai kalor LHV juga akan semakin tinggi, namun jika debit yang diberikan berlebih komposisi *flammable syngas* akan hilang karena didalam gasifier akan terjadi pembakaran biasa yang menghasilkan *flue gas*.

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, metode eksperimental ini digunakan untuk mengetahui komposisi syngas dari gasifikasi tipe *downdraft* berbahan baku tongkol jagung dengan menggunakan media gasifikasi (*gasyfaying agen*) oksigen dengan variasi kecepatan masuk media gasifikasi.

### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan pengambilan data komposisi dilakukan di bengkel Daihatsu 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. *Thermocouple tipe K*



*Gambar 3.2 Kabel Termokopel Tipe-K*

3. *Thermoreader Graphtec OI200A*



*Gamabar 3.3 Thermoreader*

4. *Anemometer*



*Gambar 3. 4. Anemomete*

5. *Gas analyzer* sukyoung SY-GA 401



*Gambar 3. 5. Gas analyzer*

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

#### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan masuk media gasifikasi oksigen yang berpengaruh terhadap temperatur *gasifier*.

#### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel prediktor, peneliti tidak dapat mengendalikan besar kecilnya variabel terikat. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah data-data yang diperoleh selama penelitian yaitu:

1. Temperatur reaktor.
2. Komposisi *syn-gas* ( $CO$ ,  $CH_4$ ).
3. Nilai kalor *lower heating value* (LHV) *syn-gas* yang dihasilkan.

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Tahapan penelitian

1. Menjemur tongkol jagung.
2. Menimbang tongkol jagung dengan berat 5 kg.
3. Memasukkan tongkol jagung kedalam *gasifier* dan menutup lubang masuk biomassa.
4. Menghubungkan *blower* dengan *gasifier* dan memastikan tidak adanya kebocoran dalam pipa saluran oksigen antara tabung dengan *gasifier*.
5. Memastikan kabel *thermocouple* terhubung dengan *thermoreader* dan tidak ada kebocoran di *gasifier*.
6. Membakar arang.
7. Memasukkan arang kedalam *gasifier*.
8. Menutup lubang masuk arang.

9. Mensuplai udara selama 30 menit untuk pemanasan awal *gasifier*.
10. Menghentikan suplai udara selama 5 menit dan menutup saluran masuk dan keluar *gasifier*.
11. Mensuplai oksigen dengan debit 0,0884 kg/min, 0,109 kg/min, 0,134 kg/min dan 0,154 kg/min.
12. Menjalankan waktu pada *stopwatch* bersamaan dengan langkah ke delapan.

### 3.5.2 Tahapan Pengambilan Data

1. Mencatat kenaikan suhu pada T1 dan T2 dalam sebuah tabel selama proses berlangsung.
2. Menghitung AFR proses gasifikasi.
3. Mengambil *syn-gas* yang keluar dari *gasifier* saat *syn-gas* dapat terbakar dengan nyala api yang stabil.
4. Melakukan pengujian komposisi *flammable syn-gas* dengan menggunakan *gas analyzer* dan mencatat komposisi *flammable syn-gas* kedalam tabel.
5. Menghitung nilai kalor LHV (*lower heating value*) dan mencatat kedalam tabel.

Tabel 3.1 Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0,0884 kg/min

No	menit	T 1	T 2	Media	Ket
1	0				
2	5				
3	10				
4	15				
5	20				
6	25				
7	30				
8	35				
9	40				
10	45				
11	50				
12	55				
13	60				
14	65				
15	70				

Tabel 3.2 Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0,109 kg/min

No	Menit	T 1	T 2	Media	Ket
1	0				
2	5				
3	10				
4	15				
5	20				
6	25				
7	30				
8	35				
9	40				
10	45				
11	50				
12	55				
13	60				
14	65				
15	70				

Tabel 3.3 Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0,134 kg/min

No	Menit	T 1	T 2	Media	Ket
1	0				
2	5				
3	10				
4	15				
5	20				
6	25				
7	30				
8	35				
9	40				
10	45				
11	50				
12	55				
13	60				
14	65				
15	70				

Tabel 3.4 Distribusi temperatur pada suplay oksigen 0,154 kg/min

No	menit	T 1	T 2	media	Ket
1	0				
2	5				
3	10				
4	15				
5	20				
6	25				
7	30				
8	35				
9	40				
10	45				
11	50				
12	55				
13	60				
14	65				
15	70				

Tabel 3.5 Data Nilai AFR (Air Ful Ratio) pada variasi suplai oksigen

Suplai udara (kg/min)	Waktu pemanasan (s)	Suplai oksigen (kg/min)	Waktu proses (s)	Massa udara dan oksigen (kg)	Massa biomassa (kg)	AFR
0,3887						
0,3887						
0,3887						
0,3887						

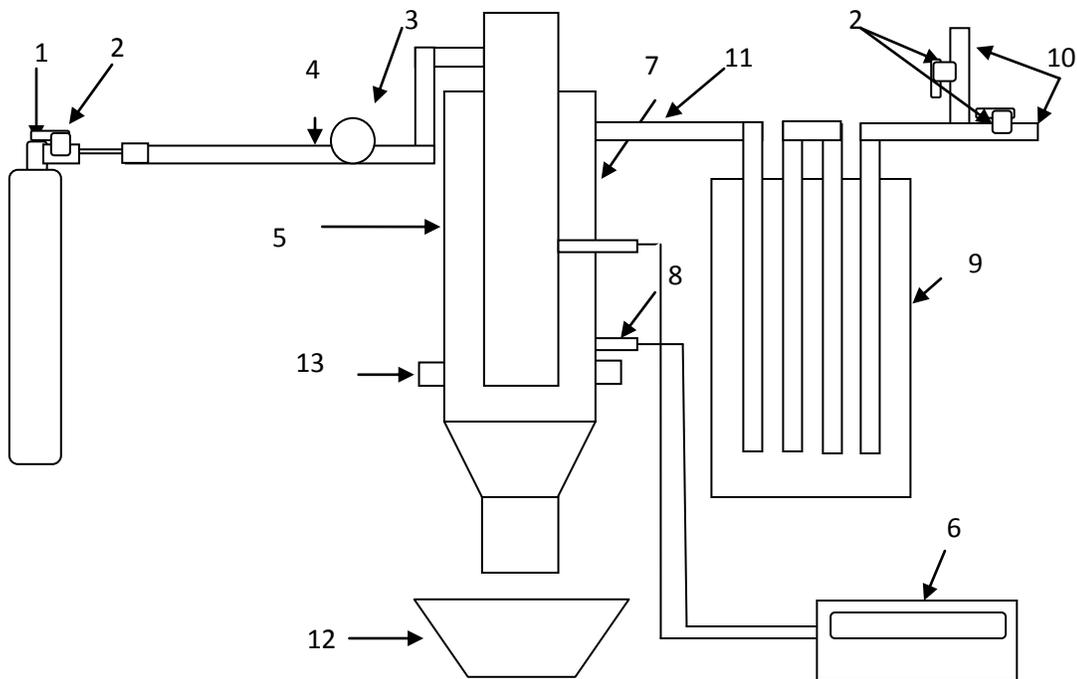
Tabel 3.6 Data Komposisi *Flammable Syn-Gas*

Suplay oksigen (kg/min)	CO (%)	CO2 (%)	CH4 (%)
0,0884			
0,109			
0,134			
0,154			

Tabel 3.7 Data Nilai Kalor LHV (*Lower Heating Value*) Syn-Gas

Suplay oksigen (kg/min)	CO (%)	CH4 (%)	Nilai kalor (kj/m3)
0,0884			
0,109			
0,134			
0,154			

### 3.6 Skema Alat Uji



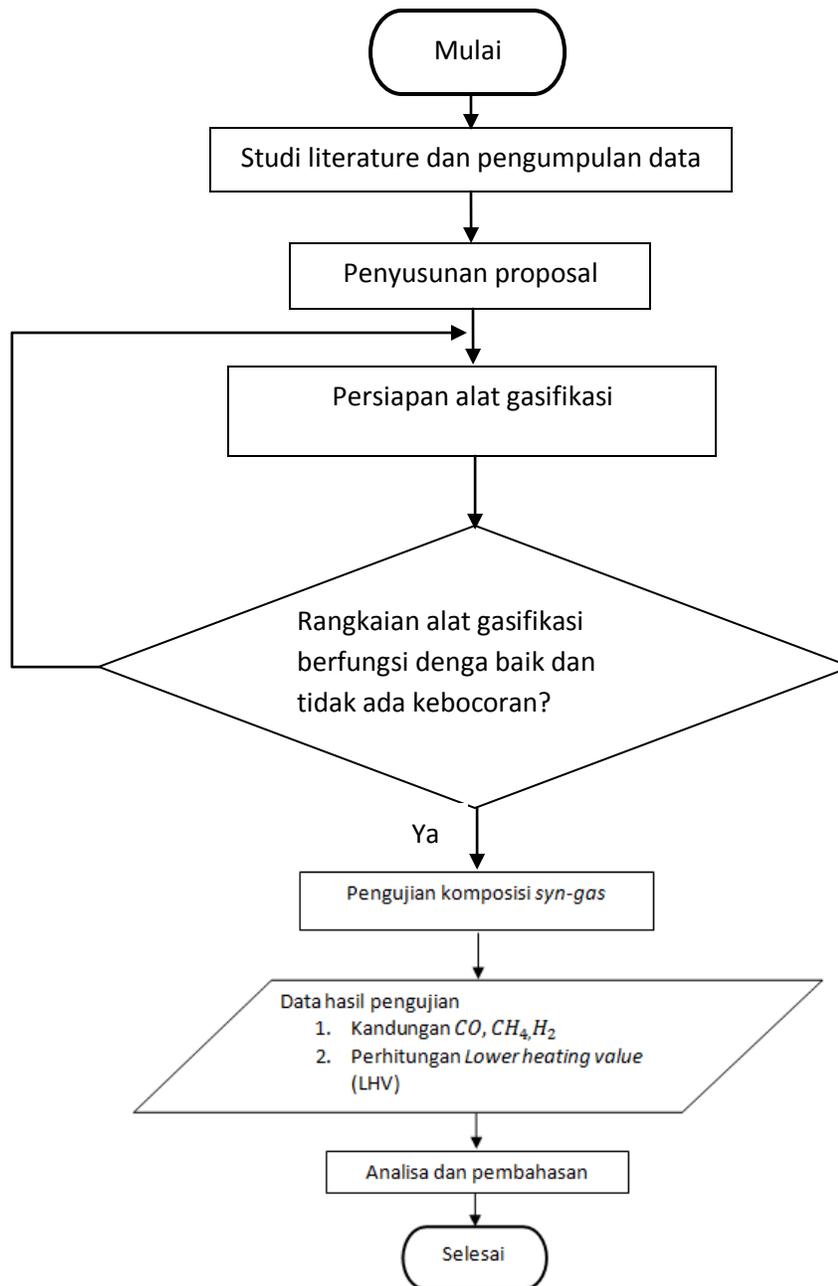
Gambar 3.7 Skema Alat Uji

#### Keterangan

- |                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1. Tabung oksigen                 | 13. Lubang masuk arang |
| 2. Regulator                      |                        |
| 3. Anemometer                     |                        |
| 4. Pipa saluran masuk oksigen     |                        |
| 5. Gasifier                       |                        |
| 6. Thermo reader                  |                        |
| 7. T1                             |                        |
| 8. T2                             |                        |
| 9. Pendingin                      |                        |
| 10. Nosel keluaran <i>syn-gas</i> |                        |
| 11. Pipa keluar <i>Syn-gas</i>    |                        |
| 12. Tempat pembuangan             |                        |

### 3.7 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian