



TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH AIR FUEL
RATIO PROSES GASIFIKASI BRIKET MUNICIPAL
SOLID WASTE TERHADAP UNJUK KERJA
GASIFIER TIPE DOWNDRAFT**

**AKBAR ADRIEQ
NRP. 2113.106.040**

**Pembimbing:
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF AIR
FUEL RATIO GASIFICATION PROCESS BRIQUETT
MUNICIPAL SOLID WASTE TO PERFORMANCE OF
DOWNDRAFT GASIFIER**

**AKBAR ADRIEQ
NRP. 2113.106.040**

**Academic Advisor:
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH AIR FUEL RATIO
PROSES GASIFIKASI BRIKET MUNICIPAL SOLID
WASTE TERHADAP INJUK KERJA GASIFIER TIPE
DOWNDRAFT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AKBAR ADRIEQ
NRP. 2113 106 040

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT. (Pembimbing)
(NIP.197301161997021001)
2. Ary Bachtiar K.P., ST., MT., PhD (Penguji I)
(NIP.197105241997021001)
3. Dr. Ir. Budi Utomo Kukul W., ME. (Penguji II)
(NIP.195312191981031001)
4. Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST., M.Sc.Eng (Penguji III)
(NIP.197804012002121001)

**SURABAYA
JULI, 2016**

Studi Eksperimental Pengaruh *Air Fuel Ratio* Proses Gasifikasi Briket *Municipal Solid Waste* Terhadap Unjuk Kerja Gasifier Tipe *Downdraft*

Nama Mahasiswa : Akbar Adrieq
NRP : 211 3106 040
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing: Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

ABSTRAK

Salah satu cara untuk mengurai permasalahan sampah perkotaan, atau yang disebut *municipal solid waste* yaitu dengan melakukan pengembangan energi alternatif yang menggunakan *municipal solid waste* sebagai bahan baku pada proses gasifikasi. Gasifikasi merupakan proses konversi energi secara thermokimia untuk menghasilkan gas yang *flammable*. Dari proses gasifikasi dihasilkan *syngas* yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang sudah semakin langka. Dalam pengoperasiannya terdapat parameter yang dominan mempengaruhi kinerja proses gasifikasi yaitu *air fuel ratio*.

Dalam menjalankan proses gasifikasi ini digunakan mekanisme merubah jumlah pasokan udara dengan mengatur blower dorong menggunakan dimmer, sehingga menghasilkan nilai *air fuel ratio* tertentu. Untuk menentukan nilai *air fuel ratio* terendah dan tertinggi yang dapat menghasilkan *syngas* yang *flammable* dan stabil. Penelitian dilakukan dengan cara semi batch dan dengan memvariasikan nilai *duty cycle* mulai dari 15%, 20%, 25%, 30%. Pengukuran dilakukan terhadap temperatur reaktor, waktu konsumsi biomassa briket *municipal solid waste*, dan laju aliran massa *syngas*. Bahan baku yang digunakan yaitu *municipal solid waste* yang telah diproses menjadi briket. Gas hasil eksperimen ditangkap menggunakan bagtrap dan di uji laboratorium LPPM-ITS untuk mengetahui kualitas *syngas* dan komposisi *syngas*.

Hasil dari penelitian ini didapatkan temperature pada zona drying didapat temperature sebesar 66°C, zona pirolisis pada temperature 317°C, zona oksidasi parsial memiliki temperature hingga 832°C, zona reduksi hingga temperature 512°C, dan temperature *syngas* mencapai 168°C . Efisiensi gas terbaik sebesar 73,05% pada AFR 1,04. Dari data tersebut semakin besar nilai AFR maka temperature pada reaktor akan semakin besar. Serta batas atas dan bawah *air fuel ratio* yang didapat mulai dari 0,72-1,45.

Kata Kunci : *gasifikasi , municipal solid waste , air fuel ratio, flammable*

Experimental Study On The Effect Of Air Fuel Ratio Gasification Process Briquett Municipal Solid Waste To Performance Of Downdraft Gasifier

Nama Mahasiswa : Akbar Adrieq
NRP : 211 3106 040
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing: Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

ABSTRACT

One way to parse the problem urban waste, or the so-called municipal solid waste is by developing alternative energy using municipal solid waste as a raw material in the gasification process. Gasification is a process of energy conversion in thermokimia to produce flammable gas. Syngas produced from the gasification process can be used as a substitute for fossil fuels are getting scarce. In operation there is a dominant parameter influencing the performance of the gasification process, namely air fuel ratio.

In carrying out the gasification process is used to change the mechanism to regulate the amount of air supply blower thrust using a dimmer, so as to produce the particular value of air fuel ratio determining the value of water is the lowest and highest fuel ratio to produce syngas which flammable and unstable. The study was conducted by way of semi-batch and by varying the duty cycle values ranging from 15%, 20%, 25%, 30%. Measurements were made of the temperature of the reactor, while the consumption of biomass briquettes municipal solid waste, and the mass flow rate of syngas. The raw materials used are solid municipal waste that has been processed into briquettes. Gas captured using bagtrap experimental results and in-ITS LPPM laboratory test to determine the quality of the syngas and the syngas composition.

The results of this study, the temperature in the drying zone obtained a temperature of 66°C, the zone of pyrolysis at temperatures of 317°C, partial oxidation zone has a temperature of up to 832°C, 512°C temperature zone to the reduction, and

syngas temperature reaches 168°C. Best gas efficiency of 73.05% at 1.04 AFR. From these data the greater the value of AFR, the temperature in the reactor will be even greater. As well as upper and lower limit air fuel ratio obtained ranging from 0.72 to 1.45.

Keys word: Performance, dual -fuel system , syn - gas , diesel oil , exhaust gas temperature , ceratan , gasification , downdraft .

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xivv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Briket <i>Municipal Solid Waste</i>	7
2.2 Karakteristik Biomassa	7
2.2.1 Analisa <i>Ultimate dan Proximate</i>	7
2.3 Nilai Kalor	9
2.3.1 Metode Penentuan Harga Nilai Kalor Untuk Padatan (Solid)	9
2.4 Karakteristik Briket MSW	10
2.5 Konversi Biomassa	11
2.6 Konversi Proses Gasifikasi Biomassa	12
2.6.1 Definisi	12
2.6.2 Jenis Reaktor Dalam Proses Gasifikasi	12
2.7 Faktor-Faktor yang mempengaruhi Proses Gasifikasi	15
2.7.1 Properties Biomassa	16
2.7.2 <i>Air Fuel Ratio (AFR)</i>	17
2.8 Effisiensi Gasifikasi	17

2.9	Penelitian Terdahulu	18
BAB III		25
METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Skema Penelitian	25
3.2	Bahan Uji	28
3.3	Spesifikasi Peralatan	29
3.4	Alat Ukur	32
3.5	Flowchart Pengambilan Data	37
3.6	Prosedur Pengujian	38
3.7	Desain Eksperimen	40
BAB IV		43
ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA		43
4.1	Analisa Properties Briket Municipal Solid Waste	43
4.2	Analisis Distribusi Temperatur	43
4.2.1	Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 0,72), dengan <i>duty cycle</i> 15%	44
4.2.2	Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 1,04), dengan <i>duty cycle</i> 20%	47
4.2.3	Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 1,39), dengan <i>duty cycle</i> 25%	48
4.2.4	Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 1,45), dengan <i>duty cycle</i> 30%	49
4.3	Analisa Keseimbangan Massa Dan Energi	50
4.3.1	Analisa Laju Alir Massa Briket MSW Pada Saat <i>Duty Cycle</i> 20%	50
4.3.2	Analisa Rasio Udara-Bahan Bakar (AFR) Pada Saat <i>Duty Cycle</i> 20%	51
4.3.3	Analisis Rasio Udara-Bahan Bakar Stoikiometri (AFRs)	51
4.4	Analisis Kandungan <i>synthetic-gas</i>	52
4.5	Analisis Nilai Kalor Ditinjau Dari LHV <i>Synthetic Gas (Low Heating Value)</i>	54
4.6	Efisiensi Gasifikasi	56

BAB V	61
PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	xvii
BIODATA PENULIS	xix

DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1 Analisa <i>ultimate</i> dan <i>proximate</i>	8
Gambar 2.2 Perbandingan udara - bahan bakar	12
Gambar 2.3 Gasifikasi <i>downdraft</i>	13
Gambar 2.4 Gasifikasi <i>updraft</i>	15
Gambar 2.5 Efek <i>air fuel ratio</i> pada temperature direaktor	19
Gambar 2.6 Grafik <i>spesifik fuel consumption solar</i> fungsi beban	20
Gambar 2. 7 a. <i>Sfc</i> dan b. <i>Fuel Consumption</i> terhadap beban	21
Gambar 2. 8 Skema pengujian biomassa	22
Gambar 2. 9 Grafik pengaruh tingkat suhu reaktor terhadap produksi gas	23

BAB III

Gambar 3. 1 Skema penelitian 3D	26
Gambar 3. 2 Skema penelitian 2D	27
Gambar 3. 3 Reaktor gasifikasi <i>downdraft</i>	29
Gambar 3. 4 <i>Centrifugal</i> blower	30
Gambar 3. 5 Pompa air	30
Gambar 3. 6 Cyclone	31
Gambar 3. 7 Dimmer	31
Gambar 3. 8 Water scrubber	32
Gambar 3. 9 (a) Termometer inframerah (b) Termokopel stik	33
Gambar 3. 10 Tool kit	33
Gambar 3. 11 Skematik mass flowmeter dengan <i>duty cycle</i>	34
Gambar 3. 12 Mass flowmeter	36
Gambar 3. 13 Flowchart	37

BAB IV

Gambar 4. 1 Zona distribusi temperatur	44
Gambar 4.2 Distribusi temperatur= $f(\text{waktu})$ pada AFR 0,72 dengan <i>duty cycle</i> 15%	45
Gambar 4.3 Distribusi temperatur= $f(\text{waktu})$ pada AFR 1,04 dengan <i>duty cycle</i> 20%	47

Gambar 4.4 Distribusi temperatur=f(waktu) pada AFR 1,39 dengan <i>duty cycle</i> 25%	48
Gambar 4.5 Distribusi temperatur=f(waktu) pada AFR 1,45 dengan <i>duty cycle</i> 30%	49
Gambar 4.6 Kandungan synthetis gas = f(<i>air fuel ratio</i>)	53
Gambar 4. 7 Nilai LHV synthetis gas pada variasi rasio udara-bahan bakar (AFR)	55
Gambar 4. 8 Nilai efisiensi gasifikasi pada variasi rasio udara-bahan bakar	58

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2. 1 Komposisi MSW	7
Tabel 2. 2 Hasil pengujian <i>ultimate</i> komponen MSW	10
Tabel 2. 3 Efek AFR terhadap performa gasifikasi	18

BAB III

Tabel 3. 1 Desain eksperimen	40
------------------------------	----

BAB IV

Tabel 4. 1 Hasil uji komposisi <i>synthetic gas</i> (<i>syn-gas</i>)	52
Tabel 4. 2 Tabel nilai LHV kandungan <i>syngas</i>	54
Tabel 4. 3 Nilai kandungan prosentase gas terbakar	55
Tabel 4. 4 Nilai efisiensi gasifikasi pada variasi rasio udara bahan bakar	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Minyak bumi merupakan energi fosil yang paling banyak digunakan sebagai bahan bakar di Indonesia. Dengan pemakaian energi fosil yang terus-menerus untuk berbagai macam aspek kehidupan, maka cadangan bahan bakar fosil kian lama kian menipis dengan bertambahnya pemakaian energi yang terus-menerus. Sedangkan jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2012 mencapai 245 juta jiwa meningkat dari 205 juta jiwa pada tahun 2000 dengan pertumbuhan rata-rata 1,31% per tahun (*Bppt Outlook Energi Indonesia 2014*)[1]. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar fosil yang semakin meningkat. Oleh karena itu perlu adanya solusi untuk dapat mengurangi atau menggantikan pemakaian energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama, yaitu berupa pengembangan energi alternatif yang masih kurang pemanfaatannya.

Sampah merupakan masalah penting yang membutuhkan perhatian. Sampah padatan kota atau yang disebut juga sebagai *Municipal Solid Waste* (MSW) adalah jenis sampah umum yang mencakup sampah rumah tangga, sampah badan komersil, sampah di area-area umum dan ada kalanya sampah hasil *treatment plant site* yang dikumpulkan *municipality* dalam wilayah tertentu. Menurut Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota Surabaya [2], volume sampah yang masuk ke TPA sebesar 10.000 m³/hari. Timbulan sampah kota Surabaya tahun 2012 dengan jumlah rumah tangga 806.794 yaitu 1200 ton/hari. Komposisi sampah di Surabaya antara lain: sampah organik 64,1%, sampah kertas 7,58%, sampah plastik 7,69 %, logam 1,11% dan 9,46% lain-lain. Sedangkan untuk kadar air sampah di dataran tinggi pada musim hujan sekitar 43% sedangkan pada musim kemarau 35%. Dari penjelasan tersebut, berikutnya penulis akan menyebut sampah sebagai *Municipal Solid Waste* (MSW).

Dalam proses konversi biomassa menjadi energi terdapat tiga proses, yaitu *combustion*, *pyrolysis* dan *gasification*. *Combustion* menghasilkan *flue gas* yaitu proses yang terjadi ketika (*air fuel ratio*) lebih besar atau sama dengan nilai stoikiometri. *Pyrolysis* merupakan konversi/perubahan dari padat/cair menjadi gas tanpa media gasifikasi. *Pyrolysis* menggunakan energi panas dari sumber eksternal pada suhu 200~300°C. Sedangkan gasifikasi adalah perubahan dr padat/cair menjadi gas dengan panas dari pembakaran sebagian bahan itu sendiri. Didalam gasifikasi terdapat pirolisis, pembakaran sebagian dan reduksi. Secara umum, gasifikasi melibatkan 4 tahapan proses berupa drying, pyrolysis, oksidasi parsial dan reduksi. Drying merupakan proses penguapan kandungan air didalam biomassa melalui pemberian panas pada interval suhu 100~300°C. Drying dilanjutkan dengan dekomposisi termal kandungan volatile matter berupa gas dan menyisakan arang karbon, dimana proses ini biasa disebut sebagai pirolisis. Pirolisis merupakan proses eksoterm yang melepas sejumlah panas pada interval suhu 300~900°C. Selanjutnya sisa arang karbon akan mengalami proses oksidasi parsial, dimana proses ini merupakan proses eksoterm yang melepas panas pada interval suhu diatas 900°C. Panas yang dilepas dari oksidasi parsial ini digunakan untuk mengatasi kebutuhan panas dari reaksi reduksi endotermis dan untuk memecah hidrokarbon yang telah terbentuk selama proses pirolisis. Proses reduksi gas CO₂ dan H₂O ini terjadi pada interval suhu 400~900°C. Reduksi gas CO₂ melalui reaksi kesetimbangan *Boudouard equilibrium reaction* dan reduksi gas H₂O melalui reaksi kesetimbangan *water-gas reaction*, dimana reaksi-reaksi tersebut secara dominan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan, Sudarmanta [3]. Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, di mana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran, Suyitno[5]. Gas tersebut atau biasa disebut *syngas* mempunyai sifat mudah terbakar yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan bakar pada motor pembakaran. Contoh penelitian *syngas* hasil biomassa dari serbuk kayu yang dilakukan

oleh Kahardiyansyah[6] menunjukkan bahwa gas hasil gasifikasi mengandung unsur $\text{CH}_4=1,81$ % *weight*, $\text{H}_2 = 5,34\%$ *weight*, $\text{O}_2 = 12,79\%$ *weight*, $\text{N}_2= 49,26$ % *weight*, $\text{CO}_2=11,23$ % *weight*, $\text{CO}=19,57$ % *weight*. *Lower heating value (LHV)* serbuk kayu sebesar 9262,96 KJ/kg.

Dalam proses gasifikasi, salah satu parameter yang mempengaruhi yaitu AFR (*air fuel ratio*). Dari penelitian Sudarmanta[3], dengan umpan tongkol jagung dan melakukan variasi terhadap AFR (*air fuel ratio*) menunjukkan bahwa proses pembakaran dengan rasio perbandingan udara dan bahan bakar yang paling optimal adalah 1,05. Dari penelitian tersebut juga didapatkan hasil syngas dengan komposisi $\text{H}_2 = 13,29$ %, $\text{CO}_2 = 8,33\%$, $\text{CO} = 10,52\%$, $\text{CH}_4 = 1,4\%$, dan $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,08\%$ dengan nilai kalor bawah sebesar 2642,88 kJ/kg. Sedangkan dari penelitian sebelumnya oleh Ardianto[4], batas bawah dan atas AFR (*air fuel ratio*) yang digunakan berada dalam range 0,70 – 1,24. Berdasarkan uraian tersebut diketahui bahwa pasokan udara sangat dominan mempengaruhi kinerja dari proses gasifikasi, sehingga pada penelitian ini kami ingin mengetahui pengaruh perubahan pasokan udara terhadap unjuk kerja reaktor gasifikasi. Utamanya batas bawah dan atas pasokan udara untuk umpan briket biomassa yang tertentu yaitu MSW.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana perubahan pasokan udara terhadap unjuk kerja gasifikasi untuk besarnya pengumpanan briket MSW yang tetap.
2. Bagaimana besarnya suhu pada zona gasifikasi yang terdiri dari zona drying, pirolisis, oksidasi parsial dan reduksi.
3. Bagaimana pengaruh *air fuel ratio* (AFR) terhadap performa *gasifier*.
4. Bagaimana mendapatkan nilai batas bawah dan atas pasokan udara.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini pokok bahasannya dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Penelitian dan pembahasan Tugas Akhir hanya dilakukan dengan menggunakan model reaktor gasifikasi berkapasitas 5,5 kg, dengan jenis gasifikasi aliran searah (*downdraft gasification*).
2. Penelitian tidak membahas tentang proses desain model reaktor gasifikasi.
3. Bahan baku yang digunakan dalam proses gasifikasi adalah briket MSW .
4. Pada penelitian ini tidak dibahas mengenai perpindahan panas secara radiasi dikarenakan media yang dilalui disekitar reaktor gasifikasi dengan fluida yang bergerak .

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mendapatkan nilai pasokan udara terbaik terhadap unjuk kerja gasifikasi dengan pengumpanan briket MSW yang tetap.
2. Untuk mendapatkan besaran suhu pada zona-zona gasifikasi yang terdiri dari zona drying, pirolisis, oksidasi parsial dan reduksi.
3. Untuk mengetahui pengaruh *air fuel ratio* (AFR) terhadap performa *gasifier*.
4. Untuk mendapatkan nilai batas bawah dan batas atas pasokan udara.

1.5 Manfaat penelitian

Dengan dilaksanakannya penelitian ini, hasil yang diperoleh diharapkan :

1. Sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil yang semakin langka.
2. Membantu menyelesaikan permasalahan sampah perkotaan (MSW) yang semakin sulit diatasi.

3. Hasil penelitian dapat dipergunakan untuk penelitian lanjutan dalam pengembangan gasifikasi dari briket MSW sebagai pengganti bahan bakar konvensional.
4. Mampu mengembangkan pemikiran dalam penemuan-penemuan teknologi bahan bakar yang dapat diperbaharui untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang dari penelitian ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta manfaat dari penelitian yang dilakukan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini di bagi menjadi 2 bagian, yaitu dasar teori dan penelitian terkait yang sudah ada. Dasar teori berisi semua hal yang menunjang dalam penganalisaan hasil penelitian. Sedangkan penelitian terkait yang sudah ada berisi tentang penelitian-penelitian sebelumnya yang ada korelasinya dengan penelitian kali ini, yang juga menjadi penunjang dalam analisa data.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini menerangkan tentang peralatan eksperimen yang meliputi alat ukur, benda uji dan metode penelitian yang digunakan.

4. Bab IV Pembahasan dan Analisa Data

Bab ini berisi tentang hasil-hasil eksperimen dan pengolahan dari data yang didapat, kemudian dianalisa dan didiskusikan lebih lanjut.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan sistem hasil analisa dan saran – saran perbaikan.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Briket *Municipal Solid Waste*

Dalam hal ini biasa disebut juga *Municipal Solid Waste* (MSW) merupakan sampah kota yang dihasilkan dari sisa konsumsi harian rumah tangga dan juga industri. Setiap jenis sampah memiliki fraksi massa dan volume yang berbeda-beda seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Komposisi MSW [7]

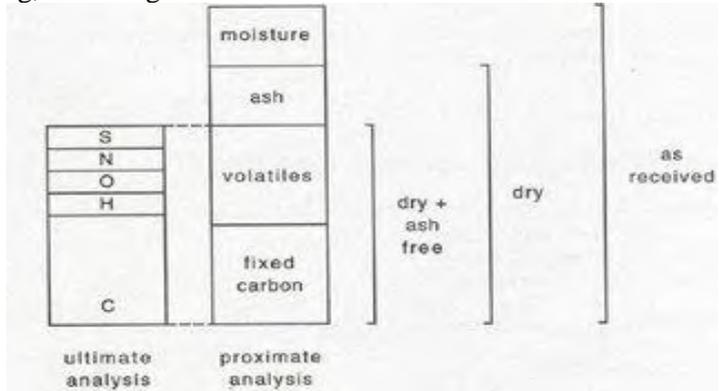
Component	Mass Fraction (%)	Volume Fraction (%)
Organic matter	35.58	44.51
Food waste	22.58	11.75
Paper	13.67	14.24
Recyclable plastic	7.06	15.30
Non recyclable Plastic	5.69	4.91
Glass	3.19	2.58
Metal	3.31	1.61
Textile	1.94	0.92
Rubber	0.68	0.36
Styrofoam	0.25	0.83
Electronic waste	0.56	0.4
Others	5.49	2.59

2.2. Karakteristik Biomassa

2.2.1 Analisa *Ultimate* dan *Proximate*

Kandungan yang dimiliki biomassa mempengaruhi proses gasifikasi yang akan dilalui, dan dari kandungan inilah struktur biomassa tersusun. Untuk mengetahui karakter dan komposisi dari biomassa digunakan metode pemeriksaan secara analitis (*proximate analyze*) dan pemeriksaan secara kimia (*ultimate analyze*). Analisa *proximate* mengidentifikasi kandungan air

(*moisture*), *volatile matter* (ketika dipanaskan sampai 950°C), *fixed carbon*, dan abu yang dimiliki oleh biomassa, sedangkan analisa *ultimate* menyatakan komposisi dari karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen.



Gambar 2.1 Analisa *ultimate* dan *proximate*

Gambar 2.1 menjelaskan komponen yang terkandung dalam biomassa dalam analisa secara *ultimate* dan *proximate*. Untuk mendapatkan unsur yang diperlukan yaitu C, S, N, O, H maka kandungan *moisture* dari biomassa harus dikeluarkan terlebih dahulu, *moisture* yang keluar akan membentuk molekul H_2O . Proses devolatilisasi atau pengeluaran *volatil* dari biomassa menghasilkan unsur-unsur C, H, O dan bersama *fixed carbon* dari biomassa bereaksi bersama udara media gasifikasi membentuk *synthetic-gas*, sedangkan ash akan terbentuk sebagai sisa hasil proses.

Dibandingkan dengan batubara, biomassa mempunyai kadar *volatile* yang lebih tinggi (sekitar 60-80%) dan kadar karbon tetap yang lebih rendah serta kadar abu yang juga lebih rendah (Suyitno, 2007) [5], sehingga dapat dikatakan biomassa lebih reaktif dibanding batubara. Pada pembakaran maupun gasifikasi, abu dari biomassa juga lebih aman karena banyak mengandung mineral seperti fosfat dan potassium. Pada temperatur operasi tidak lebih

dari 950° C atau 1000° C, abu dari biomassa tidak menimbulkan terak.

2.3 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas (kalor) yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Nilai kalor berhubungan langsung dengan kadar C dan H yang dikandung oleh bahan bakar padat. Semakin besar kadar keduanya, semakin besar pula nilai kalor yang dikandung. Ditinjau dari nilai kalor bahan bakar dibedakan atas :

- a. Nilai Kalor Atas atau high heating value (HHV) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud cair).
- b. Nilai Kalor Bawah atau low heating value (LHV) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud gas atau uap).

2.3.1 Metode penentuan harga nilai kalor untuk padatan (*solid*)

Harga nilai kalor baik HHV dan LHV dapat diperoleh dengan cara berikut :

1. Mengambil harga nilai kalor dari literatur yang ada.
2. Menghitung nilai kalor bahan bakar dengan menggunakan rumus Dulong dan Petit. Rumus dulong dan Petit menurut (2) yaitu :

$$HHV = 33.950C + 144.200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9.400S$$

$$LHV = HHV - 2.400 (H_2O + 9H_2) \quad kJ/kg \quad (2.1)$$

2.4 Karakteristik Briket MSW

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah briket MSW. Dipilihnya briket MSW sebagai bahan baku karena banyak alasan, salah satunya untuk mengurai permasalahan sampah perkotaan yang selama ini menjadi masalah. Digunakannya briket MSW juga karena kandungan yang terdapat didalamnya dapat digunakan untuk proses gasifikasi karena mengandung kalor. Selain mendapatkan energi alternatif kita juga dapat membantu pemerintah kota dalam upaya menanggulangi sampah. Berikut karakteristik briket sampah berupa analisa *ultimate* dan *proximity* dari penelitian Zhou, dkk[8].

Tabel 2.2 Hasil pengujian *ultimate* komponen MSW

Table 1
Proximate and ultimate analyses of MSW components.

Groups	Samples	Proximate analysis (wt%)			Ultimate analysis (wt%)					HHV (MJ/kg)
		A ^d	V ^d	FC ^d	C ^d	H ^d	O ^d	N ^d	S ^d	
Food residue	Chinese cabbage (CHC)	9.91	67.60	22.49	47.49	5.88	41.79	4.11	0.73	16.99
	Rice (RI)	0.40	84.42	15.18	45.97	6.35	45.74	1.69	0.25	18.14
	Potato (PO)	3.15	79.52	17.33	44.41	5.33	47.82	1.81	0.64	17.10
	Tangerine peel (TP)	2.91	76.49	20.60	48.74	5.92	43.83	1.43	0.08	18.47
	Banana peel (BP)	10.85	64.38	24.77	35.80	4.79	54.93	4.37	0.10	16.39
	Paichoi (PA)	18.44	63.97	17.59	43.37	5.93	48.64	1.25	0.81	18.90
	Celery (CE)	14.58	65.36	20.06	38.46	6.16	54.52	0.21	0.65	13.57
	Orange peel (OP)	2.15	77.93	19.92	40.28	6.12	52.46	1.08	0.06	17.10
	Spinach (SP)	15.97	65.26	18.77	47.58	6.48	43.93	1.57	0.43	17.08
	Wood waste	Poplar wood (PW)	7.54	73.85	18.61	51.36	5.89	41.00	1.52	0.22
Poplar leaf (PL)		15.69	68.74	15.57	49.54	5.24	43.30	1.32	0.59	16.85
Chinar leaf (CL)		9.23	69.74	21.03	52.95	4.88	40.51	1.01	0.65	19.12
Ginkgo leaf (GL)		11.62	73.19	15.19	41.35	5.54	50.88	1.36	0.87	15.28
Paper	Blank printing paper (BPP)	10.69	79.33	9.98	45.12	5.31	48.91	0.38	0.28	13.51
	Tissue paper (TP)	0.52	90.47	9.01	45.18	6.13	48.32	0.25	0.11	17.25
	Newspaper (NE)	8.07	79.54	12.39	48.01	5.71	45.86	0.33	0.09	17.16
Textiles	Cotton cloth (CC)	1.52	84.53	13.95	46.51	5.80	46.98	0.43	0.28	17.43
	Absorbent cotton gauze (ACG)	0.14	94.85	5.01	46.74	5.69	47.23	0.27	0.08	16.82
	Terylene (TE)	0.49	88.60	10.91	62.16	4.14	33.12	0.29	0.28	20.86
Plastics	PS	0.04	99.57	0.39	86.06	6.27	1.93	5.73	0.00	38.93
	LDPE	0.00	99.98	0.02	85.98	11.20	2.61	0.21	0.00	46.48
	HDPE	0.18	99.57	0.25	85.35	12.70	1.90	0.05	0.14	46.36
	PVC	0.00	94.93	5.07	38.34	4.47	56.96 ^a	0.23	0.00	20.83
	PP	0.02	99.98	0.00	83.51	10.64	5.63	0.22	0.00	45.20
PET	0.09	90.44	9.47	63.01	4.27	32.69	0.04	0.00	23.09	
Rubber	Rubber (RU)	10.24	62.83	26.93	89.53	6.70	1.07	0.69	2.02	35.74

A: ash; V: volatile; FC: fixed carbon; HHV: high heating value; d: dry basis; daf: dry ash free basis.

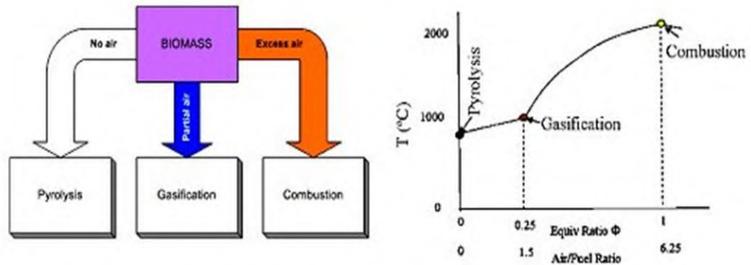
^a It is Cl for PVC.

Dari Tabel 2.2 di atas dapat diamati prosentase kandungan unsur-unsur yang terdapat dalam biomassa secara fisik maupun kimiawi. Kandungan karbon dan oksigen menunjukkan jumlah yang cukup dominan, unsur-unsur ini menjadi komponen utama dalam reaksi pembentukan *syn-gas*.

Kandungan C dan H yang cukup tinggi mampu menghasilkan nilai kalor gas yang cukup potensial untuk dimanfaatkan. Kandungan *moisture* briket MSW yang relatif rendah tidak membutuhkan energi yang terlalu besar untuk menghilangkannya. Kadar air yang dikandung akan dikeluarkan dari biomassa dengan pemanasan. Bila kandungan *moisture* terlalu tinggi maka dibutuhkan energi aktivasi pengeringan yang tinggi. Kandungan *moisture* yang teruapkan mampu memperbesar produksi H₂ (*flammable component*), namun untuk menjaga proses produksi H₂ dibutuhkan energi yang cukup besar dari proses eksoterm, dimana dalam proses eksoterm menghasilkan CO₂ yang bersifat tidak bisa terbakar. Energi hasil proses eksoterm yang terambil pada produksi H₂ dari *moisture* justru mengurangi energi yang diperlukan pada proses produksi H₂ dan CO yang *flammable* dari reaksi endoterm, sehingga hal itu cukup merugikan. Nilai kalor yang dimiliki briket MSW cukup tinggi membuat proses gasifikasi mampu tercapai dengan mudah.

2.5. Konversi Biomassa

Gasifikasi Proses konversi biomassa ini dapat dilakukan secara langsung maupun tidak. Konversi secara langsung dapat dilakukan dengan proses pembakaran, sedangkan konversi secara tidak langsung dapat dilakukan dengan proses pirolisis dan gasifikasi. Yang membedakan keduanya dengan proses pembakaran adalah hasil prosesnya dan perbandingan antara jumlah bahan bakar (*biomassa*) dengan udara yang digunakan (AFR), seperti yang terlihat pada sekema berikut :



Gambar 2.2 Perbandingan Udara – Bahan Bakar
(Suyitno,2007)[5]

2.6 Konversi Proses Gasifikasi Biomassa

2.6.1 Definisi

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses konversi biomassa yang mengandung karbon (baik padat maupun cair) menjadi gas yang memiliki nilai bakar dengan cara oksidasi parsial pada temperatur tinggi. Gas yang dimaksud adalah gas-gas yang keluar dari proses gasifikasi dan umumnya berbentuk CO , CO_2 , N_2 , O_2 , H_2 , dan CH_4 . Gasifikasi dengan bahan baku biomassa padat ini terjadi pada kondisi yang terisolasi dari udara sekitar (oksigen terbatas), berada pada tekanan yang relatif terhadap tekanan ambient. Gas produk dari gasifikasi ini dinamakan Syngas atau *Synthetic Gas*. Nilai kalori dari gas hasil proses ini berkisar antara 1000 – 1200 kcal.Nm^3 (Husein, 2005)[9].

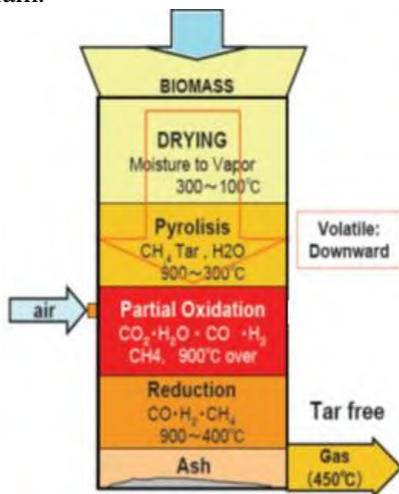
2.6.2 Jenis Reaktor Dalam Proses Gasifikasi

Berdasarkan arah aliran, reaktor gasifikasi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu, gasifikasi aliran searah (*downdraft gasification*) dan gasifikasi aliran berlawanan (*updraft gasification*). Pada gasifikasi *downdraft*, arah aliran udara dan bahan baku sama-sama ke bawah. Pada gasifikasi *updraft*, arah aliran bahan baku ke bawah sedangkan udara ke atas. Berikut

adalah karakteristik dari sistem gasifikasi *downdraft* yang dipakai dalam penelitian ini :

A. Reaktor Downdraft

Pada gasifikasi *downdraft*, arah aliran udara dan bahan baku sama-sama ke bawah. Gasifikasi jenis ini menghasilkan tar yang lebih rendah dibandingkan jenis *updraft*. Hal ini karena tar hasil pirolisis terbawa bersama gas dan kemudian masuk ke daerah gasifikasi dan pembakaran yang temperaturnya tinggi. Pada daerah gasifikasi dan pembakaran inilah, tar kemudian akan terurai. Hasil gas-gas dari gasifikasi sistem *downdraft* ini setelah disaring dan didinginkan dapat langsung dimasukkan ke dalam mesin pembakaran dalam.



Gambar 2.3 Gasifikasi *Downdraft* (Satake, 2006)[10]

Gasifikasi jenis ini mempunyai beberapa kelebihan, yaitu :

1. Cocok untuk kapasitas sampai 15 MWth.
2. Umumnya spesifik untuk kualitas bahan bakar biomassa tertentu, memerlukan kadar air yang rendah, dan kadar abu yang rendah pula. Gas yang dihasilkan lebih panas dibandingkan pada sistem

updraft dan hanya membutuhkan teknik pembersihan gas yang lebih sederhana.

3. Sangat cocok untuk diaplikasikan pada engine karena gas yang dihasilkan rendah tar.
4. Proses sederhana dan lebih murah.
5. Kandungan tar yang dihasilkan cukup rendah karena hingga 99,9% dari tar yang terbentuk dikonsumsi, hanya membutuhkan pembersihan tar yang minimum.

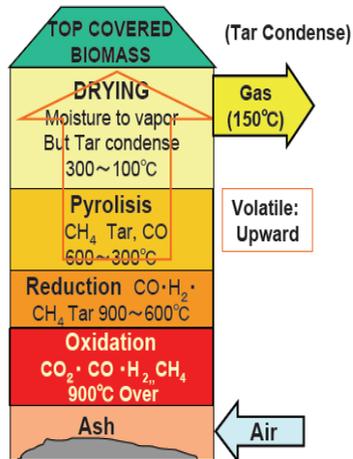
Sedangkan kekurangan dari gasifikasi downdraft adalah:

1. Membutuhkan masukan bahan baku dengan kandungan moisture yang sangat rendah.
2. Syngas hasil gasifikasi keluar reaktor pada temperatur yang sangat tinggi, sehingga membutuhkan sistem *secondary heat recovery* (pendinginan lanjutan)
3. 4-7% karbon yang tersisa tidak bisa diproses atau diubah ke bentuk lain.

B. Reaktor *Updraft*

Dengan sistem *updraft*, biomassa dimasukkan dari atas reaktor. Adanya udara dan uap dari bawah reaktor yang bergerak ke atas menyebabkan biomassa akan mengalami serangkaian proses. Biomassa dari atas reaktor sampai ke bawah mengalami pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduction. Abu dikeluarkan dari bagian bawah reaktor. Gas hasil proses gasifikasi sistem *updraft* mengandung minyak dan tar dalam jumlah yang banyak. Temperatur gas yang dihasilkan adalah rendah ($80^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ untuk biomassa). Abu bawah (*bottom ash*) umumnya terbakar sempurna dan menyisakan arang tidak terbakar dalam jumlah yang bisa diabaikan. Dust yang dihasilkan juga relatif rendah karena kecepatan gas yang digunakan juga rendah dan disebabkan juga oleh adanya “efek penyaringan” pada daerah pengeringan dan pirolisis.

Karena jumlah tar yang dihasilkan cukup banyak, maka gas-gas dari hasil gasifikasi ini tidak bisa langsung dimasukkan ke dalam mesin pembakaran (*internal combustion engine*).



Gambar 2.4 Gasifikasi *Updraft* (Satake, 2006)[10]

Adapun kelebihan dari gasifikasi updraft adalah :

1. Cocok untuk kapasitas sampai 25 MWth.
2. Gasifikasi sistem updraft lebih fleksibel terhadap kualitas bahan bakar biomassa yang digunakan.
3. Memiliki efisiensi termal yang cukup tinggi.

Sedangkan kekurangannya adalah :

1. Kadar tar yang dihasilkan relatif tinggi

2.7 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Kualitas dari proses gasifikasi ditentukan oleh kondisi dari biomassa yang digunakan sebagai bahan baku serta bagaimana desain reaktor yang dilakukan. Proses gasifikasi bukanlah semata-mata proses pengkonversian biomassa cair atau padat menjadi *combustible gas*, banyak variabel di dalamnya yang menjadi parameter penentu kinerja reaktor, tahapan proses dan temperatur dalam reaktor atau bahkan kondisi dan komposisi gas yang dihasilkan. Beberapa parameter tersebut akan dibahas pada subbab berikut ini antara lain propertis biomassa, dan rasio bahan bakar dengan udara yang digunakan.

2.7.1. Properties Biomassa

Sesuai dengan penelitian Rajvanshi (2006)[11], sifat-sifat yang dimiliki biomassa baik secara fisik maupun kimia mampu mempengaruhi baik dari segi energi yang dihasilkan maupun *heat loss*-nya. Sifat tersebut antara lain :

- **Kandungan *Moisture***
Untuk proses gasifikasi biomassa, umumnya dipilih biomassa yang memiliki kandungan *moisture* yang rendah. Karena kandungan *moisture* yang tinggi akan menyebabkan *heat loss* yang berlebihan dan beban pendinginan semakin tinggi karena *pressure drop* yang terjadi juga meningkat. Idealnya kandungan *moisture* yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi tidak lebih dari 20 %.
- **Kandungan Tar**
Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari. Tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Tar yang terbentuk dari batubara atau minyak bumi diperkirakan bersifat racun karena kandungan benzena di dalamnya. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam sehingga dapat mengganggu pernapasan. Pada reaktor gasifikasi, terbentuknya tar, yang memiliki bentuk *approximate atomic* $\text{CH}_{1.2}\text{O}_{0.5}$, terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah. Apabila hasil gas yang mengandung tar relatif tinggi dipakai pada kendaraan bermotor, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan intake valve sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m³.
- ***Ash* dan *Slagging***
Ash adalah kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku yang tetap berupa oksida setelah proses pembakaran. Sedangkan *slag* adalah kumpulan *ash* yang lebih tebal. Pengaruh adanya *ash* dan *slag* pada gasifier mengurangi respon pereaksian bahan baku pada titik tertentu sehingga menimbulkan penyumbatan pada gasifier. Semakin tinggi kandungan ash yang dimiliki maka

partikel pengotor dari syngas juga semakin banyak sehingga dibutuhkan pembersihan gas yang lebih baik lagi.

2.7.2. Air Fuel Ratio (AFR)

Perbedaan dasar antara pembakaran dan gasifikasi adalah besarnya rasio udara-bahan bakar (AFR) yang digunakan. Pada dasarnya dititikberatkan pada penggunaan variasi rasio antara bahan bakar (AFR) yang ditunjukkan dengan λ terhadap laju gas hasil gasifikasi, komposisi gas hasil gasifikasi, dan efisiensi gas hasil yang telah didinginkan. Rasio udara-bahan bakar (*biomassa*) (*air fuel ratio*) :

$$AFR = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa biomassa}} \quad (2.2)$$

2.8. Efisiensi Gasifikasi

Gasifier yang efektif mampu mengkonversi biomassa yang dimasukkan dengan tambahan udara menjadi *combustible gas* yang nantinya memiliki nilai guna yang lebih tinggi untuk diaplikasikan dalam berbagai kegiatan. Bila semua proses diatas dilakukan seefisien mungkin, maka kandungan energi dari produksi gas mampu berada pada kisaran (70-80) % dari kandungan energi biomassa yang digunakan pada gasifier, namun dalam kenyataan operasional yang dilakukan, hal tersebut sangat sulit untuk diterapkan mengingat adanya rugi-rugi panas yang terbuang ke lingkungan. Sehingga efisiensi gasifikasi, dalam hal ini merupakan nilai prosentase dari energi yang dimiliki briket MSW untuk kemudian dikonversikan menjadi gas yang berguna. Perhitungan efisiensi menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_{\text{gasifikasi}} = \frac{\text{energi}_{\text{synthesis-gas}}}{\text{energi}_{\text{biomassa briket MSW}}} \quad (2.3)$$

2.9 Penelitian Terdahulu

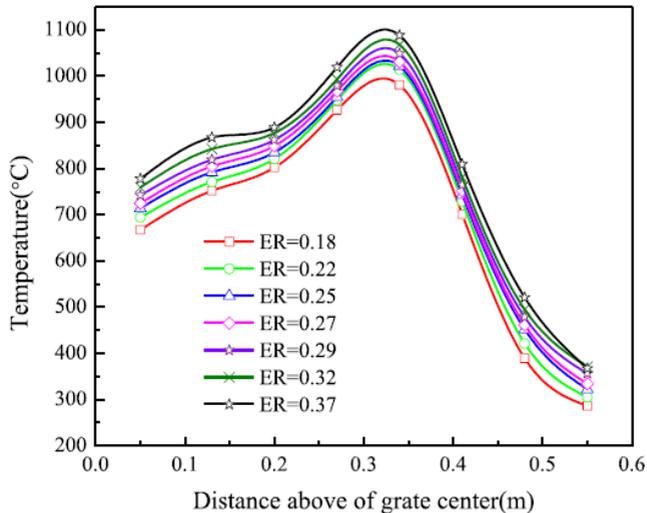
1. Penelitian yang dilakukan oleh Guo, dkk [13]

Penelitian oleh Feiqiang Guo, dkk(2014)[13] dengan menggunakan reaktor gasifikasi tipe *downdraft fixed bed* melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *air fuel ratio* (AFR) terhadap performa gasifikasi seperti tabel dibawah ini :

Tabel 2.3 Efek AFR terhadap performa gasifikasi

Effect of the equivalence ratio on the gasification performance.							
No.	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7
Feeding rate, kg/h	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Air flow, Nm ³ /h							
First stage	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8
Second stage	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8
Third stage	4.1	5.0	5.7	6.2	6.6	7.3	8.5
ER	0.18	0.22	0.25	0.27	0.29	0.32	0.37

Dari table diatas dapat dilihat nilai ER (*equivalent ratio*) mempengaruhi laju udara *syngas*, dengan memvariasikan nilai ER (*equivalent ratio*) dan nilai feeding rate yang tetap dilihat pengaruh yang mengarah bahwa semakin besar nilai ER (*equivalent ratio*), maka nilai laju udara *syngas* juga semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai ER mempengaruhi performa gasifikasi.

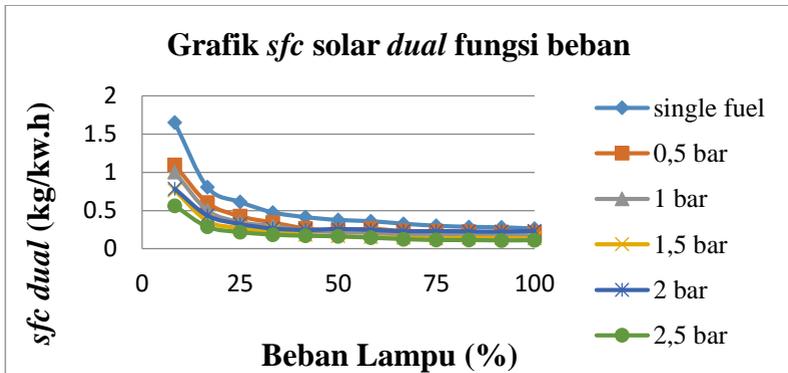


Gambar 2.5 Efek *air fuel ratio* pada temperature direaktor

Dari grafik diatas dapat dilihat bagaimana nilai ER (*equivalent ratio*) berpengaruh terhadap temperature direaktor. Semakin besar nilai ER (*equivalent ratio*) maka temperature direaktorpun akan semakin tinggi. Sehingga kita dapat melihat nilai ER (*equivalent ratio*) yang sesuai dengan suhu yang diharapkan dalam penelitian.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Maulana[14]

Rosyid melakukan penelitian dengan menggunakan bahan bakar solar dan *syngas* hasil gasifikasi serbuk kayu. Penelitian ini menggunakan mesin diesel satu silinder yang terkopel dengan generator. Pada pengujian ini *syngas* hasil gasifikasi serbuk kayu dapat mengurangi konsumsi solar rata-rata 70,83 % pada pembebanan maksimal dari kondisi standar.

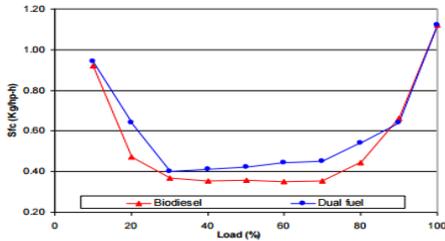


Gambar 2.6 Grafik *spesifik fuel consumption solar* fungsi beban

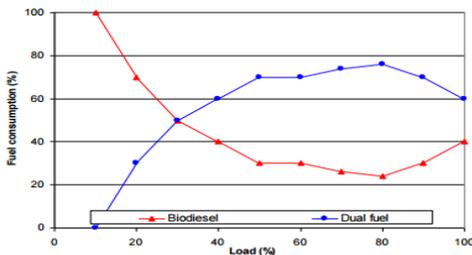
Melalui gambar di atas dapat dilihat jumlah persentase minyak solar yang digantikan oleh *syngas* setiap penambahan *syngas* dan beban listrik. Setiap kenaikan tekanan *syngas* yang keluar dari *pressure regulator*, maka terjadi kenaikan laju alir massa *syngas* yang masuk ke dalam ruang bakar. Setiap kenaikan laju alir massa *syngas*, maka besarnya jumlah persentase minyak solar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar untuk menjaga putaran mesin konstan akan semakin turun. Sehingga jumlah persentase minyak solar yang digantikan akan semakin besar.

3. Penelitian yang dilakukan oleh Sudarmanta [15]

Penelitian dari Sudarmanta menggunakan biodiesel dan *syngas* hasil dari gasifikasi dengan umpan sekam padi dengan sistem downdraft gasifier reaktor. Penelitian ini menggunakan mesin diesel satu silinder yang terkopel dengan generator.



The specific fuel consumption vs percentage of load



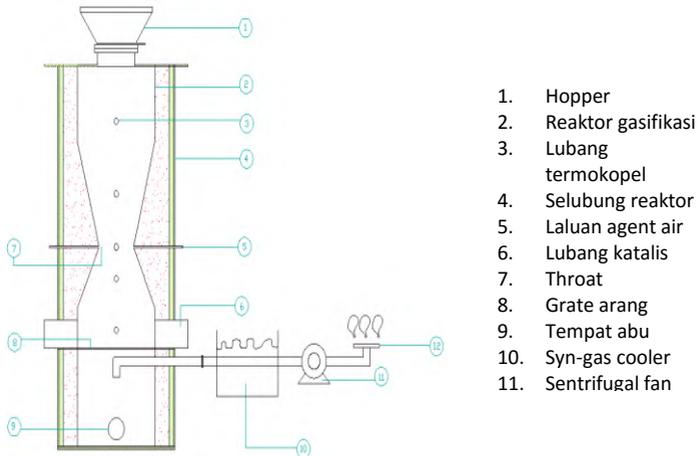
. Percentage fuel consumption vs percentage of load

Gambar 2.7 a. *Sfc* dan b. *Fuel Consumption* terhadap Beban

Pada gambar 2.10 a, menyatakan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik biodiesel lebih kecil dari bahan dual fuel karena nilai heating value yang lebih rendah dari syn-gas lebih kecil dari bahan bakar biodiesel. Tes mesin bisa berjalan di kedua diesel dan syn-gas, bukan berjalan hanya pada diesel. Syn-gas dimasukkan ke dalam mesin diesel untuk membiarkan mesin beroperasi di mode dual-fuel, sehingga mengurangi konsumsi solar sebesar lebih dari 60% seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10 b . Rasio udara-gas adalah 1: 1. Mesin ini terhubung generator 3 kW untuk pengukuran pembebanan.

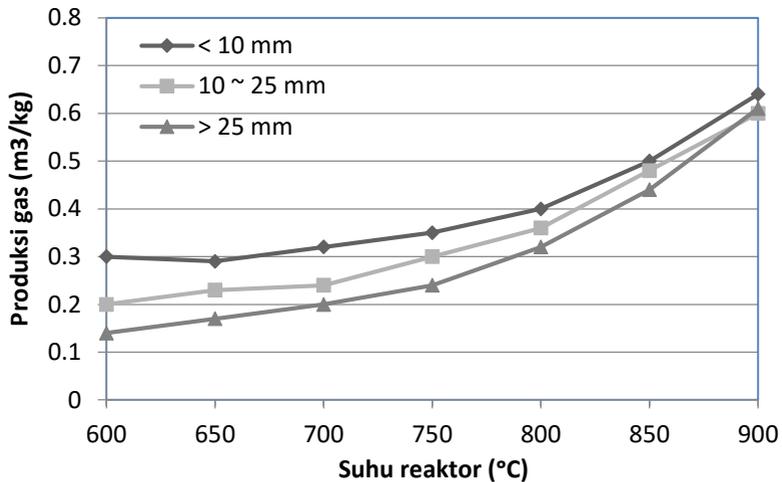
4. Penelitian yang dilakukan oleh Sudarmanta [16]

Penelitian Sudarmanta selanjutnya mengenai pengaruh suhu reaktor dan ukuran partikel biomassa limbah kayu terhadap karakter *syngas* yang dihasilkan. Penelitian variasi suhu reaktor dilakukan pada rentang 600 – 900 °C. sedangkan rentang ukuran partikel biomassa pada >10 mm, 10-25 mm, dan >25 mm.



Gambar 2.8 Skema pengujian biomassa

Dengan variasi peningkatan suhu reaktor dapat meningkatkan kualitas produksi syngas (H_2 , CO , CH_4). Dengan variasi ukuran partikel syngas, juga menunjukkan semakin kecil ukuran partikel dapat meningkatkan produksi gas. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 2.9 Grafik pengaruh tingkat suhu reaktor terhadap produksi gas

Secara kuantitatif, karakterisasi biomassa limbah kayu menghasilkan nilai kalor bawah sebesar 14,45 MJ/kg. Perhitungan efisiensi gasifikasi pada kondisi terbaik bisa mencapai 34,20%, dengan komposisi *syngas* sebagai berikut: H₂ = 14,20 %, CO₂ = 8,32%, CO = 10,42%, CH₄ = 1,54%, dan C₂H₆ = 0,18% dengan nilai kalor bawah sebesar 3246,80 KJ/kg.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

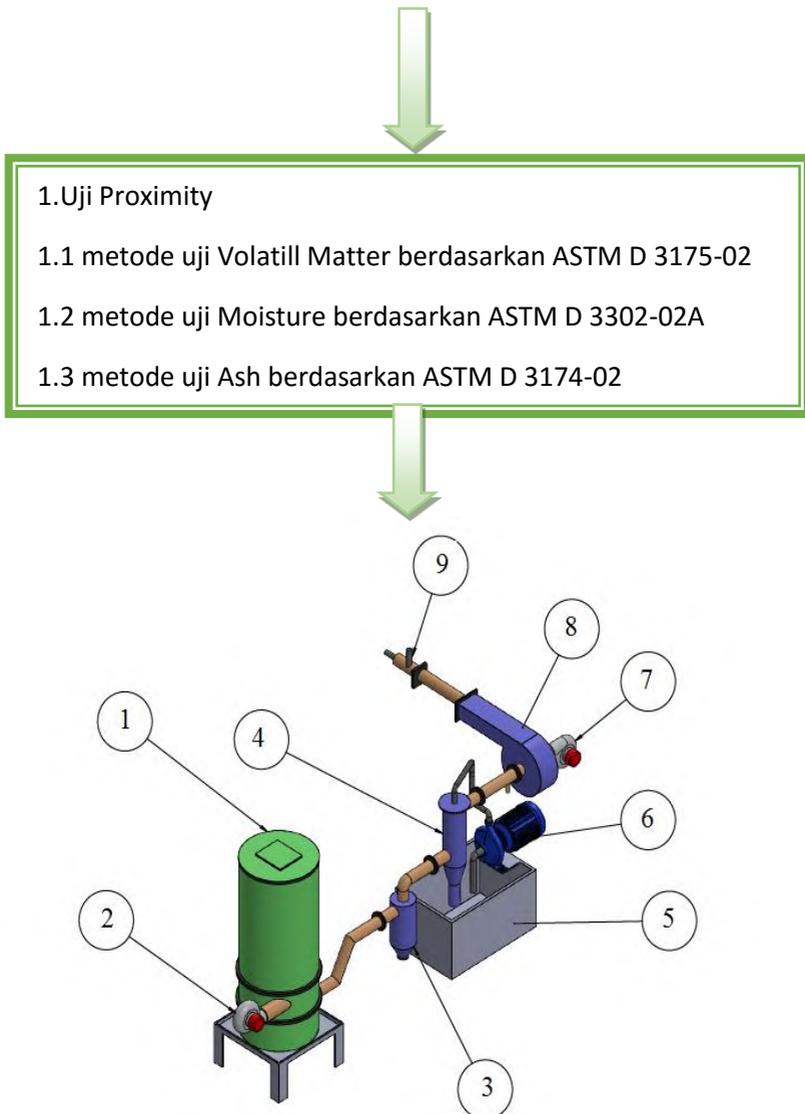
Pengujian dilakukan dengan metode eksperimental untuk mengetahui gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi (*Syn-gas*) dengan metode gasifikasi downdraft berbahan baku briket sampah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sistem kontinyu, artinya pengamatan dilakukan dengan pemasukan biomassa secara terus menerus.

Dalam pengujian ini , dilakukan variasi dimmer di blower *centrifugal* pada udara media gasifikasi yang masuk melalui pipa *throat* reaktor, kemudian diamati bagaimana proses distribusi temperatur yang terjadi di dalam reaktor selama operasi dari awal hingga biomassa habis, dan bagaimana mendapatkan nilai batas atas dan batas bawah dari pasokan udara , agar dapat menghasilkan gas yang *flammable* dan stabil. Data-data yang dicatat berupa: laju alir massa udara, laju alir massa *syn-gas*, temperatur di dalam reaktor, temperatur dinding reaktor, dan komposisi yang terkandung di dalam *syn-gas*.

3.1. Skema Penelitian

Briket Sampah

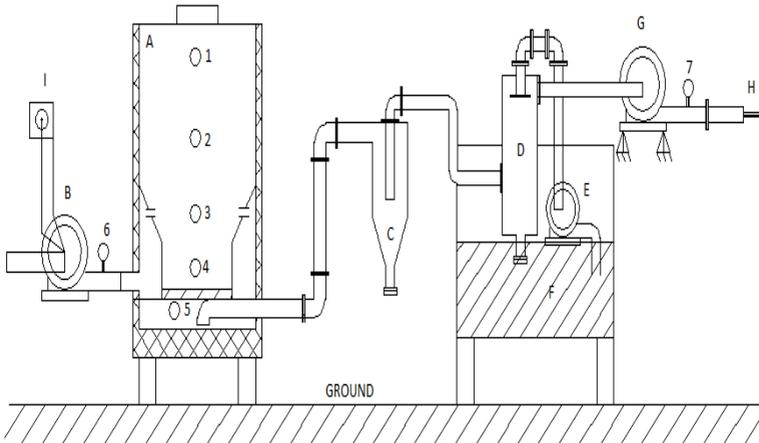




Gambar 3.1 Skema Penelitian 3D

Keterangan :

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1. Reaktor Downdraft | 6. Pompa |
| 2. Blower | 7. Blower isap |
| 3. Cyclone | 8. Saringan <i>syn-gas</i> |
| 4. Water Scrubber | 9. Keluaran <i>syn-gas</i> |
| 5. Tank for water | |



Gambar 3.2 Skema Penelitian 2D

Keterangan :

$o_1 - o_5 =$ *Thermocouple* (No. 6 dan 7 terdapat *mass flowmeter*)

A = Reaktor *downdraft*

B = Blower

C = *Cyclone*

D	= <i>Water scrubber</i>
E	= Pompa air
F	= Bak penampung air
G	= Blower syngas
H	= <i>Burner visualitator</i>
I	= <i>Dimmer</i>

3.2. Bahan Uji

Bahan baku dalam pengujian ini menggunakan briket MSW yang dibuat oleh saudara Farhana dari ITS Surabaya. Berikut pengujian propertis biomassa MSW yaitu :

1) Analisa *Ultimate*

Pada pengujian ini dapat diketahui karakteristik kandungan komposisi dari karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen yang dimiliki oleh bahan baku.

2) Analisa *Proxymate*

Pada pengujian ini dianalisa mengenai kadar kandungan moisture content, volatil matter, fixed carbon, dan abu yang dimilikinya.

3) Analisa Nilai Kalor

Pada pengujian ini dianalisa mengenai nilai kandungan kalor (*Low Heating Value*) yang di uji pada alat bomb kalorimeter dimana, nilai yang keluar dari alat tersebut yaitu dalam bentuk High Heating Value.

Untuk analisa ultimate diambil pendekatan dari penelitian Zhou,dkk(2014)[9] untuk mendapatkan nilai pengujian analisa ultimate yang lebih spesifik, sebagai referensi dalam pengujian. Berhubung dengan jenis briket MSW yang digunakan sama. sedangkan analisa *proxymate* dan Analisa Nilai Kalor dilakukan pengujian di laboratorium pusat studi energi dan rekayasa LPPM ITS.

3.3. Spesifikasi Peralatan

1. Reaktor Gasifikasi



Gambar 3.3 Reaktor Gasifikasi *Downdraft*

2. Centrifugal Blower

Dipasang pada bagian output *water scrubber* sebagai alat untuk menghisap gas dari reaktor menuju pipa saluran gas. Berikut spesifikasi dan gambar dibawah ini :

Power = 0.025 watt

Pressure = 95 Pa



Gambar 3.4 Centrifugal Blower

3. Pompa Air

Pompa air berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penampungan menuju *water scrubeer* dimana air disini digunakan untuk mendinginkan gas dan membersihkan gas dari kotoran atau partikel ringan yang dibawa gas sehingga akan dihasilkan gas yang bersih pada *burner*. Daya pompa adalah 0,125 kw. Berikut gambar pompa air dibawah ini :



Gambar 3.5 Pompa Air

4. Cyclone

Yaitu suatu alat yang berfungsi sebagai alat pemisah partikel dengan gas yang menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan tekanan rendah karena adanya perputaran. Pada pengujian ini,

cyclone digunakan untuk memisahkan gas hasil gasifikasi dengan kandungan lainnya seperti tar, char, ash.



Gambar 3.6 Cyclone

5. Dimmer

Dimmer berupa resistor yang digunakan untuk memvariasikan kecepatan suplai udara dari blower dengan cara membatasi arus listrik yang mengalir, untuk mendapatkan nilai *Air Fuel Ratio* yang diinginkan. Adapun *dimmer* yang digunakan dalam pengambilan data mampu mengubah tingkat kecepatan sesuai dengan yang diinginkan. Sistem kontrol *dimmer* menggunakan mikroprosesor Arduino uno.



Gambar 3.7 Dimmer

6. *Water Scrubber*

Fungsi *water scrubber* adalah mendinginkan gas dan mengeluarkan partikel abu. Sebelum mencapai dasar dari scrubber, gas didinginkan dengan cara melewatkan pada suatu pancaran air atau gelembung air sebelum melewati water seal, seal tersebut juga berfungsi sebagai peralatan pengaman tambahan untuk mencegah terjadinya kebocoran gas. *Scrubber* pada penelitian ini digunakan untuk menangkap *pollutant* yang ada pada gas dan mendinginkannya sebelum dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Berikut gambar *water scrubber* di bawah ini :



Gambar 3.8 Water Scrubber

3.4 Alat Ukur

1. Thermocouple

Untuk mendapatkan perhitungan rugi-rugi panas yang terjadi pada sistem gasifikasi, maka perlu diketahui temperatur antara sebelum dan setelah proses. Untuk pengukuran temperatur dinding reaktor dan pipa digunakan *Fluke Infrared Thermometer*. Spesifikasi dari termometer ini:

- Buatan : Fluke, Inc.
- Range : $-40^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ / $-40^{\circ}\text{F} - 932^{\circ}\text{F}$
- Akurasi : diatas 0°C (32°F) $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($\pm 4^{\circ}\text{F}$) \rightarrow
dibawah 0°C (32°F) $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 9^{\circ}\text{F}$) \rightarrow
- Responce Time : $\leq 0,8$ sec

- Optical resolution : 8:1



(a)



(b)

Gambar 3.9 (a) Termometer inframerah (b) Termokopel stik

Pengukuran temperatur reaksi dalam reaktor gasifikasi menggunakan termokopel stik tipe K. *Range* kemampuan termokopel tersebut dari 0 – 1300 °C.

2. Tool Kit

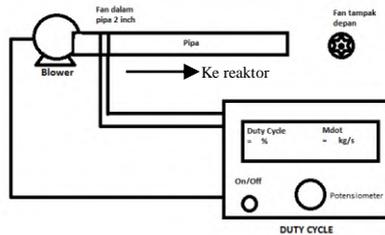
Tool Kit adalah alat yang digunakan untuk membantu proses pembukaan tutup reaktor, melepas sambungan perpipaan untuk proses pembersihan dari tar. Berikut gambar tool kit di bawah ini :



Gambar 3.10 Tool Kit

3. Mass flowmeter

Alat ini dipergunakan untuk mengukur kecepatan *syngas* hasil produksi reaktor, ceratan *syngas*, dan udara masuk yang disuplai ke reaktor. *Mass flowmeter* diletakkan pada keluaran *syngas* dari reaktor setelah *induced fan*, pada pipa aliran menuju reaktor setelah katup ceratan dan bagian setelah *mixer gasifying agent*.



Gambar 3.11 Skematik *mass flowmeter* dengan *duty cycle*

Spesifikasi alat :

Kapasitas tekanan	: 100 kPa
Channel	: 8 unit
Mikroprosesor	: Arduino Uno
Sensor	: MPX 5100DP
D_{Tube}	: 0.03937" (Fix)
D_{Pipe}	: 3"
Autosave	: Ada

Pada penelitian tugas akhir gasifikasi, *mass flowmeter* memiliki 8 *channel* titik pengukuran. Alat ukur menggunakan mikro-prosesor Arduino uno dan sensor putaran menggunakan fan yang bisa dipasang didalam pipa atau udara sekitar.

Prinsip kerja Arduino adalah mengonversi resistansi ke voltase untuk dimasukkan ke dalam persamaan dari data *sheet* sensor menjadi kecepatan dan laju alir massa serta menampilkan hasilnya ke dalam *display*. Display yang dimaksud adalah layar laptop ataupun LCD. Sementara fan dengan memanfaatkan tekanan yang dikonversi menjadi voltase out. Fan terhubung

dengan resistor sehingga menyebabkan terjadinya perubahan nilai voltase out yang ditransmisikan menuju Arduino.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

Dengan :

P_2 = Tekanan stagnasi (pada titik 2) (Pa)

P_1 = Tekanan statis (pada titik 1) (Pa)

ρ = Massa jenis (kg/m³)

V_1 = Kecepatan di titik 1, (m/s), kecepatan pada P statis = 0 (m/s)

V_2 = Kecepatan di titik 2, (m/s),

Dengan mengansumsikan $\Delta z = 0$ maka persamaan menjadi:

$$\frac{V_2^2}{2} = \frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho}$$

Untuk mencari kecepatan udara dari persamaan diatas menjadi:

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho}}$$

Dengan:

ΔP = perbedaan tekanan (kPa)

Perbedaan tekanan didapatkan dari data sheet sensor dengan persamaan:

$$V_{out} = V_s \cdot (0,009P + 0,04) \text{ atau } \Delta P = \frac{V_{out} - 0,02}{0,045}$$

V_{out} = voltase out yang diterima sensor (volt)

V_s = voltase maksimal yang ditransmisikan sensor (5 volt)



Gambar 3.12 Mass flowmeter

Kecepatan yang diukur menggunakan pitot tube merupakan kecepatan maksimum fluida melewati pipa. Untuk mengetahui kecepatan rata-rata fluida dalam pipa dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\tilde{v} = f_k \times V_{max}$$

Dengan:

\tilde{v} = kecepatan rata-rata (m/s)

V = kecepatan maksimum fluida (m/s)

f_k = faktor koreksi (0,86)

Dari kecepatan rata-rata pada aliran pipa, dapat diketahui laju alir massa fluida dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho \times \tilde{v} \times A$$

Dengan :

\dot{m} = laju alir massa fluida (kg/s)

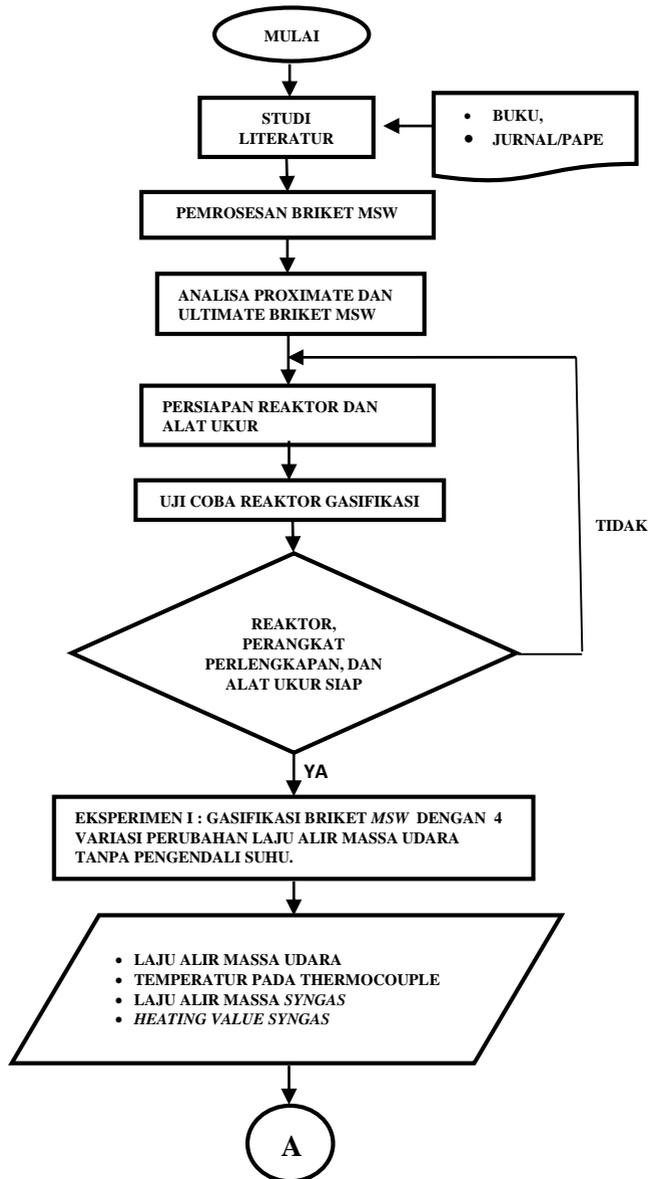
ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

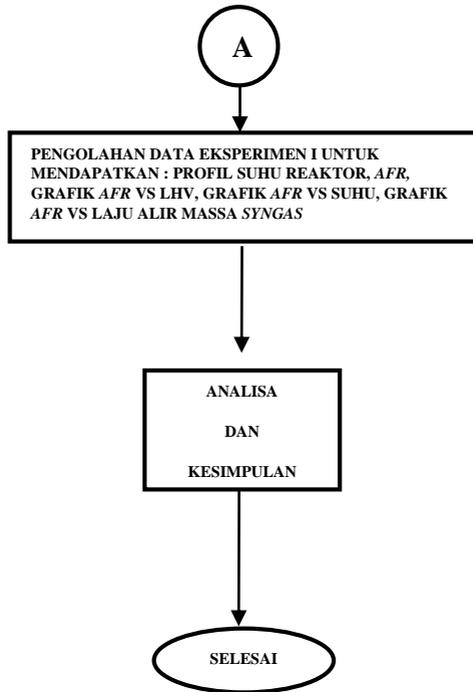
\tilde{v} = kecepatan rata-rata (m/s)

A = luas penampang pipa (m²)

Massa jenis dari udara adalah 1,2 (kg/m³), sedangkan pada syngas sebesar 0,95 (kg/m³) [19]. Luas penampang pipa aliran adalah 2 inch.

3.5 Flowchart Pengambilan Data





Gambar 3.13 Flowchart

3.6. Prosedur Pengujian

Prosedur pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk performa proses gasifikasi system *semi batch*. Dalam eksperimen ini akan diambil data berupa laju alir massa biomassa, udara, dan *syn gas*, serta distribusi temperatur di sepanjang reaktor melalui sebuah *display thermocouple*.

1) Tahap Persiapan

Sebelum pelaksanaan proses pengujian terdapat beberapa persiapan yang harus dilakukan agar pengambilan data dapat dilakukan dengan baik.

1. Pengecekan reaktor gasifikasi dan memastikan semua peralatan penunjang yang lain seperti *thermocouple*, blower, dan komponen-komponen lainnya telah terpasang dengan baik.
 2. Persiapan alat ukur yang digunakan seperti, digital flowmeter, *infrared thermocouple*, pitot tube, dan stopwatch.
 3. Mempersiapkan briket MSW sebagai bahan biomassa.
 4. Pastikan pompa, display temperatur sudah menyala.
- 2) Tahap Pengambilan Data
1. Sebagai data awal, temperatur ruang atau ambient dicatat, temperatur awal dinding reaktor dan sistem perpipaannya menggunakan infrared thermometer.
 2. Untuk tahap awal, dimasukkan briket MSW ke dalam reaktor hingga batas bawah (permulaan zona pirolisis) dan ratakan di atas grate kemudian beri sedikit minyak tanah.
 3. Briket MSW disulut sebagai pemanasan awal.
 4. Masukkan briket MSW sebanyak 5 kg.
 5. Secara bersamaan, blower dinyalakan, putaran dimmer diatur sesuai tahap pengambilan data.
 6. Data temperatur diambil pada tiap thermokopel melalui *display thermocouple* yang ada untuk nantinya digunakan mengidentifikasi zona tahapan gasifikasi.
 7. Data diambil pada *mass flowmeter* diambil untuk mengetahui besarnya kecepatan udara yang masuk ke dalam gasifier melalui lubang (throat) udara.
 8. Pada saluran pipa keluaran juga dipasang *mass flowmeter* untuk mengukur laju alir *syn-gas*.
 9. Perhitungan waktu operasi menggunakan stopwatch mulai dijalankan. Pengambilan data dilakukan tiap 10 menit.
 10. Lakukan semua pengukuran di atas tiap 10 menit hingga gate mencapai batas bawah.
 11. Pengambilan data temperatur tiap titik *thermocouple*, laju alir massa udara, dan laju alir massa *syn-gas* diulangi dengan memberi variasi kecepatan udara masukan melalui putaran dimmer pada blower. Perubahan variasi ini dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada blower.

12. Setelah itu dilakukan pengujian *syn-gas* hasil gasifikasi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pusat Studi Energi dan Rekayasa, Lembaga Pengabdian Masyarakat (LPPM) dengan sampel syngas pada tiap variasi *Air Fuel Ratio*. Pengujian dilakukan dengan cara menyimpan syngas ke suatu tempat yang tertutup dan terisolasi dari udara luar. Komposisi gas yang diujikan antarlain H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , CH_4 .

3) Tahap Akhir Pengujian

1. Matikan blower perlahan.
2. Catat temperatur akhir dari reaktor dan sistem perpipaannya.
3. Biarkan reaktor sampai api benar-benar padam dan temperaturnya turun.

3.7. Desain Eksperimen

Berikut ini desain eksperimen dari penelitian ini :

Tabel 3.1 Desain Eksperimen

Parameter input	Parameter output		Visualisasi
	Pengukuran	Perhitungan	
1. Dimensi reaktor : D : 650 mm T : 1250 mm 2. Massa biomassa : 5,5 kg briket MSW 3. Bahan baku : briket MSW	1. \dot{m}_{syngas} 2. \dot{m}_{udara} 3. Temperatur reaktor: 1. Zona <i>drying</i> 2. Zona <i>pyrolysis</i> 3. Zona <i>Combustion</i> 4. Zona <i>Gasification</i> 5. <i>Syngas</i> 4. Temperatur <i>syngas</i>	1. Nilai kalor <i>syngas</i> 2. <i>Air Fuel Ratio</i> 3. <i>Efisiensi Gasifikasi</i>	Nyala api

	<i>5. Temperatur gasifying agent</i>		
--	--	--	--

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN DATA

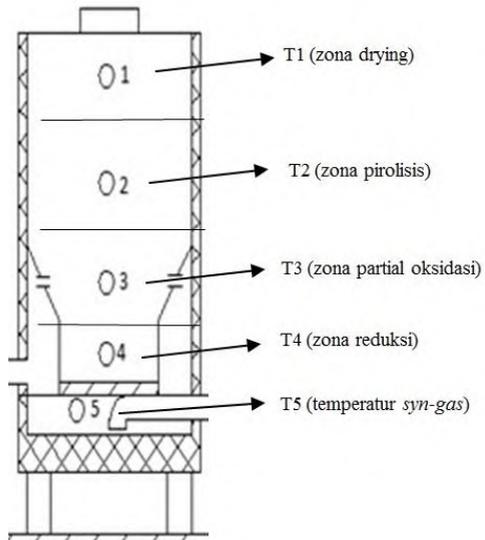
Pada bab ini akan dibahas performa dari suatu *gasifier* untuk menghasilkan gas yang *flammable*. Untuk menentukan performa dari suatu *gasifier* dalam menghasilkan gas yang *flammable* dapat di tinjau dari beberapa parameter yaitu distribusi temperatur di dalam reaktor, komposisi gas yang dihasilkan, dan efisiensi yang dimiliki oleh *gasifier* tersebut. Parameter inilah, nantinya akan memiliki nilai yang berbeda untuk tiap variasi rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dengan mengubah nilai *duty cycle*-nya, dari perbedaan tersebut akan dianalisa performa *gasifier*-nya, sehingga kita dapat menentukan efisiensi terbesar berada pada AFR tertentu. Selain itu penelitian dilakukan dengan memvariasikan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) untuk menentukan nilai batas atas dan batas bawah dengan melakukan pengujian AFR diluar batas bawah dan atas yang didapat dari penelitian.

4.1 Analisa Propertis Briket Municipal Solid Waste

Biomassa yang digunakan telah dilakukan pengujian nilai kalornya yang dilakukan di laboratorium pusat studi energi dan rekayasa ITS, dengan nilai LHV sebesar 4698 kJ/kg. Biomassa briket MSW yang digunakan dalam pengujian memiliki kandungan *moisture content* sebesar 20% - 25%. Komposisi yang digunakan 60% organik dan 40% anorganik.

4.2 Analisis Distribusi Temperatur

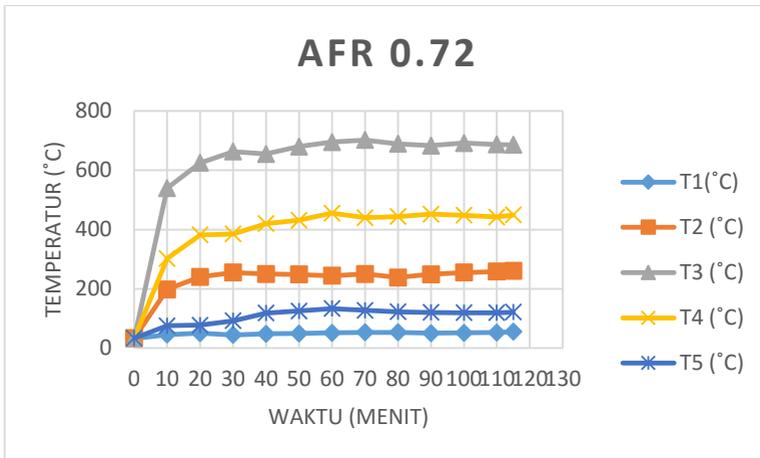
Dalam proses gasifikasi terdapat empat tahapan proses dalam menghasilkan *syngas*, yaitu tahap drying, pirolisis, oksidasi parsial dan reduksi. Masing-masing tahapan tersebut memiliki interval temperatur yang berbeda sebagai indikatornya. Pada subbab berikut akan ditampilkan dalam bentuk grafik distribusi temperatur fungsi variasi rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dengan nilai *duty cycle*. Berikut sketsa gambar zona zona gasifikasi:



Gambar 4.1 Zona distribusi temperatur

4.2.1 Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 0,72), dengan *duty cycle* = 15%

Berikut gambar distribusi temperatur fungsi waktu pada AFR 0,72 dengan *duty cycle* 15% di bawah ini :



Gambar 4.2 Distribusi Temperatur = $f(\text{waktu})$ pada AFR 0,72 dengan duty cycle 15%

Pada Gambar 4.2 diatas, termokopel 1 (T_1) memiliki temperatur antara 45°C hingga 55°C, yang menunjukkan bahwa termokopel 1 (T_1) merupakan permulaan zona *drying*, dimana briket MSW mengalami penguapan untuk menghilangkan kandungan moisture-nya.

Berikutnya untuk termokopel 2 (T_2) memiliki temperatur kisaran sampai 245°C yang mana mengindikasikan bahwa T_2 akan masuk zona *pirolisis*. Seperti pada dasar teori bab 2 yang menyatakan bahwa zona pirolisis berada temperatur 300°C-900°C, dimana biomassa kering yang bebas dari *moisture*, mengalami pemanasan terus-menerus yang, diharapkan mampu menghilangkan kandungan *volatile* biomassa. Biomassa yang mengalami pemanasan pada temperatur tinggi akan menyebabkan biomassa terpecah menjadi arang (C), tar, minyak, gas dan produk pirolisa lain. Produk *pirolisis* umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO, CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang. Secara umum reaksi yang terjadi pada *pirolisis* beserta produknya adalah:

Biomassa*→*char+tar + gases (CO₂; CO; H₂O; H₂; CH₄; C_nH_m)

Lalu pada termokopel 3 (T₃) memiliki temperatur paling tinggi diantara yang lainnya, karena pada (T₃) sudah masuk zona oksidasi parsial. Temperatur pada termokopel 3 (T₃) ini berada dikisaran 540°C sampai 702°C. Hal ini sesuai dengan dasar teori pada bab 2 bahwa, zona *oksidasi parsial* akan memasuki temperatur >900°C, dimana proses ini menghasilkan panas (*reaksi eksoterm*) yang memanaskan lapisan karbon dibawah. Proses tersebut dipengaruhi distribusi oksigen karena adanya oksigen inilah, terjadi reaksi eksoterm yang menghasilkan panas, yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Sekitar 20% arang bersama *volatile* 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). Reaksi kimia yang terjadi pada zona ini adalah sebagai berikut :

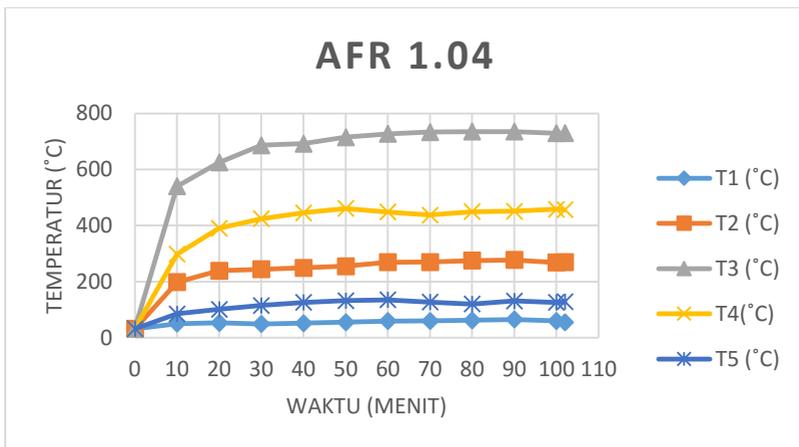


Sedangkan pada termokopel 4 (T₄), temperatur konstan kisaran sampai 420°C, mengindikasikan bahwa T₄ masuk zona *reduksi* yang berada pada kisaran temperatur 400°C-900°C, dimana proses ini menyerap atau membutuhkan panas (*reaksi endoterm*). Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia seperti (*Water-Gas Reactio*, *Boudouard Reaction*, *Shift conversion*, *Methanation*), dimana terbentuknya, senyawa-senyawa yang berguna untuk menghasilkan *flammable gas*, seperti H₂ dan CO. Sisa 80% dari arang turun ke bawah membentuk lapisan pada daerah reduksi, dimana di bagian ini hampir seluruh karbon akan digunakan dan abu yang terbentuk akan menuju tempat penampungan abu. Untuk termokopel 5 (T₅) nilai temperaturnya berada pada kisaran 112°C

menunjukkan sebagai indikator temperatur gas hasil gasifikasi yaitu *synthetic-gas (syn-gas)*.

4.2.2. Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 1,04), dengan *duty cycle* = 20%

Berikut gambar distribusi temperatur fungsi waktu pada AFR 1,04 dengan *duty cycle* 20% di bawah ini :



Gambar 4.3 Distribusi Temperatur = $f(\text{waktu})$ pada AFR 1,04 dengan *duty cycle* 20%

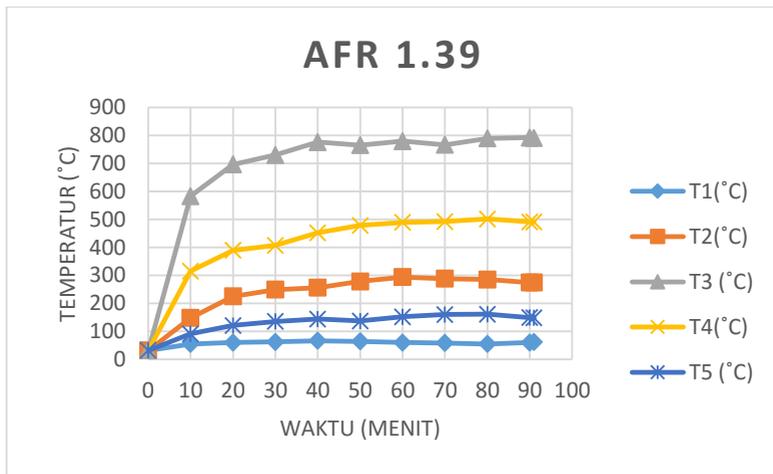
Pada gambar 4.3 diatas yaitu termokopel 1 (T_1) memiliki rentang temperatur yang hamper sama dengan variasi AFR sebelumnya. Untuk temperatur termokopel 1 (T_1) berada pada kisaran 56°C , mengindikasikan bahwa termokopel 1 merupakan permulaan zona *drying*, dimana kandungan moisture yang dimiliki briket MSW dihilangkan melalui proses penguapan atau *evaporasi*. Untuk termokopel 2 (T_2) memiliki rentang temperatur yang sama dengan variasi AFR sebelumnya dengan teperatur pada kisaran 255°C mengindikasikan bahwa, T_2 ini akan masuk zona *pirolisis* sesuai dengan dasar teori pada bab 2 bahwa, zona *pirolisis* memasuki temperatur 300°C - 900°C , dimana biomassa yang

mengalami pemanasan terus-menerus, diharapkan mampu menghilangkan kandungan *volatile* biomassa.

Sedangkan termokopel 3 (T_3), distribusi temperatur yang terjadi memiliki rentang temperatur yang sama dengan variasi AFR sebelumnya dan juga memiliki temperature tertinggi dibandingkan dengan yang lainnya yaitu antara 540 °C – 735 °C. Begitu juga dengan temperature 4 (T_4) yang memiliki temperatur pada kisaran yang lebih tinggi, yaitu 428 °C. Untuk temperature 5(T_4) kali ini temperature yang tercatat berada antara 85 °C -132 °C.

4.2.3. Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 1,39), dengan *duty cycle* = 25%

Berikut gambar distribusi temperatur fungsi waktu pada AFR 1,39 dengan *duty cycle* 25% di bawah ini :



Gambar 4.4 Distribusi Temperatur = f(waktu) pada AFR 1,39 dengan *duty cycle* 25%

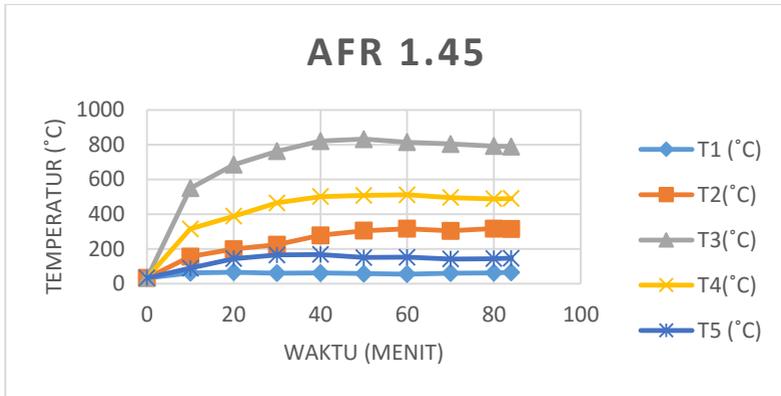
Pada gambar 4.4 diatas yaitu termokopel 1 (T_1) memiliki rentang temperatur yang lebih tinggi dari variasi AFR

sebelumnya yakni AFR 0,72 dan 1,04 yang mana berada pada kisaran temperatur 60°C, karena pada termokopel 1(T₁) menunjukkan permulaan zona *drying*, dimana kandungan *moisture* yang dimiliki biomassa briket MSW dihilangkan melalui proses penguapan atau *evaporasi*. Untuk termokopel 2 (T₂) juga memiliki rentang temperatur yang lebih tinggi dari variasi AFR sebelumnya, berada pada kisaran 148 °C sampai dengan temperatur 284°C mengindikasikan bahwa, T₂ ini akan masuk zona *pirolisis* sesuai dengan dasar teori pada bab 2 bahwa, zona *pirolisis* memasuki temperatur 300°C-900°C, dimana biomassa yang mengalami pemanasan terus-menerus, diharapkan mampu menghilangkan kandungan *volatile* biomassa.

Sedangkan termokopel 3 (T₃), distribusi temperatur yang terjadi memiliki rentang temperatur yang hampir sama dengan variasi AFR sebelumnya, hanya saja pada termokopel 3 (T₃) temperatur yang terjadi lebih tinggi yaitu 742°C dibandingkan dengan AFR 0,72 dan 1,04 . Dimana pada AFR 0,72 dan 1,04 temperatur tertinggi didapat pada suhu 702 °C dan 735 °C. Hal ini dikarenakan, semakin tinggi AFR (*Air Fuel Ratio*) maka temperatur akan meningkat. Lalu pada temperatur 4(T₄) temperature tertinggi didapat pada suhu 501 °C , sedangkan pada temperature 5(T₅) rata-rata temperature dari 91 °C -161 °C.

4.2.4. Distribusi Temperatur Reaktor fungsi (Air Fuel Ratio = 1,45) dengan *duty cycle* = 30%

Berikut gambar distribusi temperatur fungsi waktu pada AFR 1,45 dengan *duty cycle* 30% di bawah ini :



Gambar 4.5 Distribusi Temperatur = $f(\text{waktu})$ pada AFR 1,45 dengan duty cycle 30%

Pada gambar 4.5 diatas yaitu termokopel 1 (T_1) memiliki temperatur lebih tinggi sampai dengan temperatur 66°C, dibandingkan AFR sebelumnya. Pada AFR 1,38 (T_1) hanya mampu mencapai temperature pada kisaran 53°C, begitu juga dengan AFR sebelumnya yang lebih kecil yaitu pada AFR 0,72 dan AFR 1,04 nilai pada termokopel 1 (T_1) lebih kecil. Lalu pada termokopel 2 (T_2) memiliki rentang temperatur sampai 300°C mengindikasikan bahwa, T_2 sudah masuk zona *pirolisis* sesuai dasar teori bab 2 bahwa, zona *pirolisis* pada temperatur 300°C-900°C, dimana biomassa yang mengalami pemanasan terus-menerus, diharapkan mampu menghilangkan kandungan *volatile* biomassa.

Sedangkan pada termokopel 3 (T_3), temperatur yang terjadi mencapai temperatur rata-rata 761°C dengan temperatur tertinggi pada suhu 832 °C . Ini merupakan temperatur tertinggi dari AFR sebelumnya yang telah diuji. Sedangkan untuk temperatur 4 (T_4) suhu berada pada kisaran 462 °C , hampir sama dengan AFR 1,38 dengan rata-rata temperatur 450 °C .Lalu pada temperatur 5(T_5), temperatur yang didapat antara 89 °C -168 °C , tidak jauh berbeda dengan temperatur pada AFR sebelumnya.

4.3 Analisis Kesetimbangan Massa dan Energi

Berdasarkan data yang didapat dari penelitian yang dilakukan dari parameter yang diukur dan dihitung maka didapatkan nilai kesetimbangan massa dan energi serta efisiensi gasifikasi tertinggi yang didapatkan pada air fuel ratio (AFR) 1,04 dengan *duty cycle* 20%. Berikut adalah contoh perhitungannya.

4.3.1 Analisis laju alir massa briket MSW pada saat *duty cycle* 20%

Data yang diperoleh dari saat percobaan :

- Massa biomassa briket MSW : 5 kg
- Waktu operasi gasifikasi : 102 menit
- Perhitungan laju alir massa bahan bakar (briket MSW) :

$$\dot{m}_{\text{biomassa briket MSW}} = \frac{5 \text{ kg}}{102 \text{ menit}} \cdot \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ second}}$$

$$\dot{m}_{\text{biomassa briket MSW}} = 0.000817 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.3.2 Analisis Rasio Udara-Bahan Bakar (AFR) pada saat *duty cycle* 20%

Perhitungan Rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dapat diperoleh dari data perhitungan di atas yaitu :

$$\dot{m}_{\text{udara}} = 0,00085 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{biomassa briket MSW}} = 0,00082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$(AFR) = \frac{\dot{m}_{\text{udara}}}{\dot{m}_{\text{bahanbakar (biomassa briket MSW)}}$$

$$(AFR) = \frac{0,0085 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{0,00082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 1,0404 = 1,04$$

4.3.3 Analisis Rasio Udara-Bahan Bakar Stoikiometri (AFR_s)

Pada studi eksperimental tidak dilakukan pengujian ultimate bahan bakar briket MSW dikarenakan keterbatasan alat ukur dan tempat pengujian, sehingga untuk nilai rasio udara-bahan bakar stoikiometri (AFR_s) mengacu pada buku dan jurnal. Pada buku “*Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*” yang ditulis oleh Reed and Dash, menjelaskan bahwa secara teori AFR_s pada pembakaran biomassa dengan udara sebesar **6,36** ekuivalen dengan Φ sebesar 1 menggunakan bahan bakar kayu. Sementara regional gasifikasi maksimal terjadi pada AFR 1,5 dengan Φ sebesar 0,25. Dikarenakan bahan bakar briket memiliki komposisi sebesar 60% dari bahan serbuk kayu dan kertas, maka nilai AFR_s mengacu pada nilai tersebut.

4.4 Analisis Kandungan *synthetic-gas*

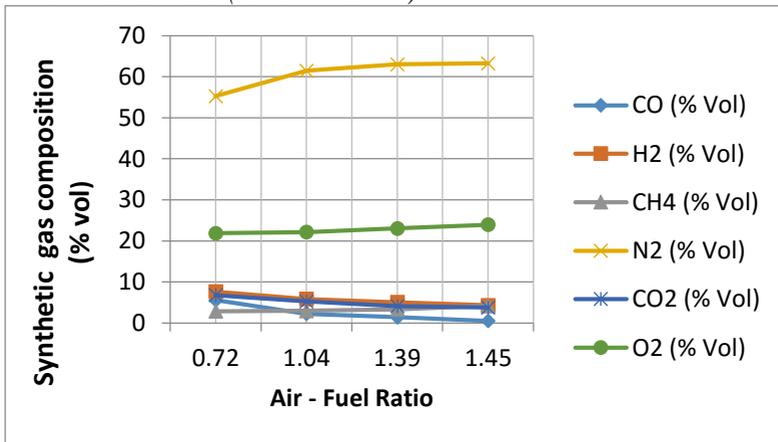
Pengujian Synthetic gas hasil percobaan gasifikasi dilakukan di Laboratorium Pusat Studi Energi dan Rekayasa LPPM ITS. Komposisi kandungan gas yang diuji meliputi H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , CH_4 . Berikut adalah tabel 4.1 hasil pengujian komposisi gas yang telah dilakukan

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Synthetic Gas (*Syn-gas*)

Dutty cycle (%)	Rasio udara-bahan bakar	Komposisi Synthetic gas (% Vol.)					
		CO	H2	CH4	CO2	N2	O2
15	0,72	9,99	6,60	6,04	2,74	66,99	7,65
20	1,04	7,93	6,19	5,42	2,87	67,20	10,38
25	1,39	5,01	5,79	4,98	3,26	68,73	12,23
30	1,45	2,36	4,40	3,56	4,96	69,91	14,82

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium studi energi dan rekayasa LPPM ITS

Dari hasil pengujian dilaboratorium studi energi dan rekayasa LPPM ITS didapatkan nilai N_2 yang cukup besar yaitu $>50\%$ mengindikasikan adanya udara luar yang masuk pada saat pengambilan sampel, yang menyebabkan udara luar yang bukan hasil proses gasifikasi ikut masuk saat pengambilan sampel gas. Pengambilan sampel gas ini sendiri dilakukan menggunakan balon udara yang dimasukkan secara manual menggunakan selang kedalam balon udara, lalu setelah gas masuk kedalam, balon udara diikat secara manual. Sampel gas diambil langsung dari sisi keluaran pipa. Hal ini juga menjadi salah satu faktor adanya udara luar yang ikut masuk pada saat pengambilan sampel. Berikut ditampilkan gambar 4.9 kandungan synthetic gas fungsi dari rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) :



Gambar 4.6 Kandungan synthetic gas = $f(\text{air fuel ratio})$

Pada gambar 4.6 diatas menunjukkan bahwa, konsentrasi kandungan *synthetic gas* pada gas mudah terbakar (*combustible gas*) cenderung mengalami penurunan dengan meningkatnya rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dari 0,72 sampai 1,04 ini dapat terlihat, pada *Air Fuel Ratio* 0,72 ke 1,04 kandungan gas CO menurun, dari 9,99 % vol ke 7,93 % vol, lalu terus menurun hingga AFR 1,45 yang memiliki kandungan CO sebesar 2,36 % vol. untuk

kandungan gas H₂ menurun dari 6,60 % vol ke 4,40 % vol, begitu juga dengan kandungan gas CH₄ terjadi penurunan dari 6,04 % vol ke 3,56 % vol pada AFR 0,72 ke 1,45.

Selanjutnya, pada AFR 0,72 ke 1,45 untuk kandungan gas CO₂ mengalami kenaikan secara perlahan dari 2,74 % vol ke 4,96 % vol, kandungan gas N₂ meningkat secara perlahan dari 66,99 % vol ke 69,91 % vol, pada AFR 0,72 ke 1,45. Lalu pada AFR 0,72 ke 1,45 kandungan gas O₂ meningkat secara perlahan dari 7,65 % vol ke 14,82 % vol. Walaupun kenaikannya tidak terlalu signifikan, seiring dengan peningkatan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), ini dikarenakan bahwa peningkatan dari rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) akan meningkatkan laju alir massa udara yang masuk kedalam *gasifier*, yang mana proses gasifikasi ini membutuhkan udara terbatas, sehingga udara yang masuk kedalam reaktor gasifikasi ini berlebih, maka akan terbentuk banyak gas O₂, N₂, CO₂ dan *combustible* gas berkurang (gas CO, H₂, CH₄).

4.5 Analisis nilai kalor ditinjau dari LHV *Synthetic Gas* (*Low heating Value*)

Dari prosentase komposisi *Synthetic gas* dapat dilakukan perhitungan *Low heating value* (LHV) pada *synthetic gas* yaitu :

$$LHV_{GAS} = \sum_{i=1}^n (Y_i \cdot LHV_i)$$

Keterangan :

Y_i = kosentrasi gas yang terbakar (CO, CH₄, H₂)

LHV_i = Nilai kalor rendah dari gas terbakar (CO, CH₄, H₂)

Tabel 4.2. Tabel nilai LHV kandungan syngas

Nilai kalor bawah (LHV _i) gas yang terbakar		
CO (kJ/m ³)	H ₂ (kJ/m ³)	CH ₄ (kJ/m ³)
12696	35866	10768

Berikut perhitungan *Low heating value* syntehtic-gas, untuk variasi AFR 1,04 :

- Y_i untuk gas CO = 7,93% = 0,0793
- Y_i untuk gas H₂ = 6,19% = 0,0619
- Y_i untuk gas CH₄ = 5,42% = 0,0542

$$LHV\ Syngas = \sum_{i=1}^n (0,0793 \cdot 12696) + (0,0619 \cdot 35866) + (0,0542 \cdot 10768)$$

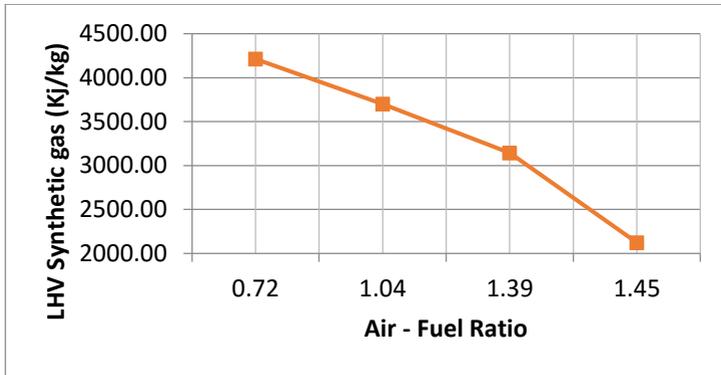
$$LHVSyngas = 3810,52 \frac{kJ}{m^3}$$

Berikut Tabel 4.3 nilai LHV synthetis-gas persatuan massa pada variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) :

Tabel 4.3 Nilai kandungan prosentase gas terbakar

<i>Duty cycle</i> (%)	Rasio udara-bahan bakar (<i>Air Fuel Ratio</i>)	Nilai kandungan energi LHV synthetis gas (kJ/kg)
15	0,72	4212,88
20	1,04	3699,74
25	1,39	3143,69
30	1,45	2121,44

Berikut Gambar 4.10 grafik nilai LHV synthetis gas pada variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) di bawah :



Gambar 4.7 Nilai LHV sintetis gas pada variasi rasio udara-bahan bakar (AFR)

Pada gambar 4.7 diatas menunjukkan bahwa, *trendline* penurunan nilai LHV sintetis gas yang menurun, seiring dengan peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) ini disebabkan dari, peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), akan meningkatkan suplai laju alir massa udara yang masuk ke dalam reaktor gasifikasi, sehingga mempengaruhi proses reaksi kimia pembentukan kandungan gas terbakar (*combustible gas*), dimana proses gasifikasi ini, membutuhkan suplai udara terbatas, maka kandungan gas terbakar (*gas CO, H₂, CH₄*) akan cenderung menurun, jika suplai laju alir massa udara meningkat. Sebaliknya (*gas CO₂, N₂, O₂*), meningkat seiring dengan peningkatan suplai laju alir massa udara. Proses gasifikasi membutuhkan suplai udara yang terbatas, sehingga kandungan gas terbakar (*combustible gas*) akan cenderung meningkat, jika suplai laju alir massa udara terbatas yang dibutuhkan tepat.

4.6 Efisiensi Gasifikasi

$$\begin{aligned}
 Energi_{syntheticgas} &= 3699,74 \frac{kJ}{kg} \times 0,00066 \frac{kg}{s} \\
 &= 2,4418 \frac{kJ}{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi biomassa briket MSW} &= 4698 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0,00082 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\ &= 3,8523 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi}_{\text{gasifier}} = \frac{\text{Energi synthetic - gas}}{\text{Energi briket MSW}} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

$$\text{Efisiensi}_{\text{gasifier}} = \frac{2,4418 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{3,8523 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}} \cdot 100$$

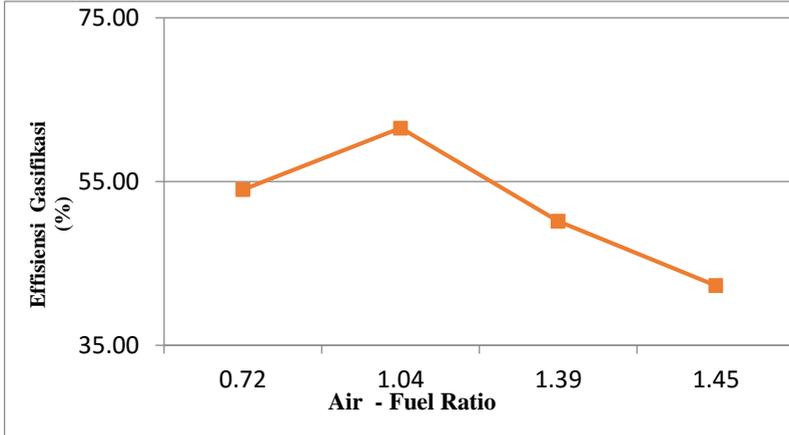
$$\text{Efisiensi}_{\text{gasifier}} = 64,03 \%$$

Berikut tabel 4.4 nilai efisiensi gasifikasi pada variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) :

Tabel 4.4 Nilai efisiensi gasifikasi pada variasi rasio udara bahan bakar

Duty cycle (%)	Rasio udara bahan bakar (<i>Air Fuel Ratio</i>)	Efisiensi Gasifikasi (%)
15	0,72	53,38
20	1,04	64,03
25	1,39	52,71
30	1,45	40,36

Dari table tersebut didapat gambar 4.8 grafik nilai efisiensi gasifikasi pada variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) sebagai berikut :



Gambar 4.8 Nilai efisiensi gasifikasi pada variasi rasio udara bahan bakar

Pada gambar 4.8 diatas menunjukkan bahwa, *trendline* kenaikan nilai efisiensi gasifikasi pada AFR 0,72 ke 1,04. Ini dikarenakan bahwa dengan faktor energi biomassa briket MSW yang konstan maka dipengaruhi oleh energi synthetis gas, dimana energi synthetis gas mempunyai faktor dari laju alir massa synthetis gas yang mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), kandungan energi dilihat dari LHV (*low heating value*) synthetis gas yang mengalami penurunan seiring dengan peningkatan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dikarenakan kosentrasi kandungan gas terbakar juga ikut menurun seiring pertambahan AFR, massa jenis synthetis gas yang mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), maka dari itu efisiensi gasifikasi yang terbaik dengan variasi rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio* 0,72 ; 1,04 ; 1,39 ; 1,45) yaitu pada

AFR 1,04 dimana mempunyai nilai maksimal efisiensi gasifikasi sebesar 64,03%.

Sebaliknya efisiensi gasifikasi terendah ada pada saat AFR 1,45 yang mengindikasikan pasokan udara masuk terlalu besar sehingga mengurangi efisiensinya. Pada AFR 1,45 didapat efisiensi sebesar 40,36%. Berbeda dengan AFR 1,39 dan 0,72 yang masih memiliki efisiensi cukup besar yaitu 52,71% dan 53,38%.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Termokopel 1 (T1) rata-rata menunjukkan kisaran temperatur sampai 60°C mengindikasikan memasuki posisi zona pengeringan (*drying*), dimana kandungan moisture, yang dimiliki briket MSW dihilangkan, melalui proses penguapan atau *evaporasi*.
2. Termokopel 2 (T2) rata-rata menunjukkan kisaran temperatur sampai 255°C mengindikasikan bahwa akan masuk zona *pirolisis* sesuai dengan dasar teori pada bab 2, zona pirolisis memasuki temperatur 300°C-900°C, dimana biomassa kering yang bebas dari *moisture*, mengalami pemanasan terus-menerus, yang diharapkan mampu menghilangkan kandungan *volatile* biomassa.
3. Termokopel 3 (T3) rata-rata menunjukkan kisaran temperatur sampai 746°C mengindikasikan (T3) akan masuk zona *oksidasi parsial* sesuai dengan dasar teori pada bab 2 bahwa, zona *oksidasi parsial* akan memasuki temperatur >900°C, dimana proses ini menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon dibawah
4. Termokopel 4 (T4) rata-rata menunjukkan kisaran temperatur sampai 450°C mengindikasikan (T4) akan masuk zona *reduksi* sesuai dengan dasar teori pada bab 2 bahwa, zona *reduksi* memasuki temperatur 400°C-900°C, dimana proses ini menyerap, atau membutuhkan panas (*reaksi endoterm*).
5. Termokopel 5 (T5) rata-rata menunjukkan kisaran temperatur sampai 120°C mengindikasikan (T5) sebagai indikator temperatur gas hasil gasifikasi yaitu *synthetic-gas* (*syn-gas*).
6. Semakin besar nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), maka konsentrasi kandungan *synthetic gas* pada

gas yang mudah terbakar (*combustible gas*) cenderung mengalami penurunan, sebaliknya gas O₂, N₂, CO₂ mengalami kenaikan secara perlahan.

7. Nilai Rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) yang terbaik, ditinjau dari konsentrasi kandungan *synthetic gas* pada gas mudah terbakar (*combustible gas*) yaitu pada AFR 0,72.
8. Semakin besar nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), maka nilai kandungan energi ditinjau dari *Low Heating Value synthetic gas* semakin menurun.
9. Nilai Rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) yang terbaik, ditinjau dari nilai kandungan energi (*Low Heating Value*) *synthetic gas* yaitu pada AFR 0,72
10. Nilai Rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) yang terbaik ditinjau dari efisiensi gasifikasi (%) yaitu pada AFR 1,04 dengan nilai efisiensi gasifikasi sebesar 64,03 %.
11. Nilai batas bawah dan batas atas pasokan udara untuk kandungan gas yang *flammable* dari 0,72-1,45.

5.2. Saran

1. Adanya penelitian lebih lanjut, mengenai bahan bakar briket MSW, karena memiliki potensi yang besar.
2. Proses pengambilan sampel gas membutuhkan perlakuan yang hati-hati, agar udara luar tidak ikut masuk pada saat pengambilan sampel.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut, mengenai pemanfaatan gas hasil gasifikasi agar nantinya, bisa menjadi energi alternatif yang potensial, untuk dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugiono A., Anindhita, Boedoyo, M. S., Adiarso. 2014. **Pengembangan Energi dalam Mendukung Program Substitusi BBM**. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta, Indonesia.
- [2] Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) Kota Surabaya. 2009. Surabaya, Indonesia.
- [3] Sudarmanta, Bambang. 2010 , *Variasi Rasio Gasifying Agent – Biomassa Terhadap Karakterisasi Gasifikasi Tongkol Jagung Pada Reaktor Downdraft* , Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Ardianto, Ferry. 2014 , **Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Serpihan Kayu Pada Reaktor Downdraft Sistem Batch Dengan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Dan Ukuran Biomassa** , Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Suyitno, Techn. 2007. Teknologi Gasifikasi Biomasa untuk Penyediaan Listrik dan Panas Skala Kecil Menengah ; Dalam Kumpulan Potret Hasil Karya IPTEK. UNS Press. Surakarta.
- [6] Kahardiansyah, Falah. 2015. *Studi Eksperimen Rancangan Burner Type Partially Premixed dengan Bahan Bakar Syngas Biomassa Serbuk kayu dengan Variasi Diameter Outlet Bahan Bakar*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [7] Putra, A.D., 2013. *Feasibility of Recovering Energy from Municipal Solid Waste to Generate Electricity*. ITB. Bandung.
- [8] Zhou, J., Chen, Q., Zhao, H., Cao, X., Mei, Q., Luo, Z., Cen, K. 2009. *Biomass-Oxygen Gasification in a High Temperature Entrained-Flow Gasifier*. State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University. Huang zhou, China.
- [9] Husein, M. Z. M.. (2005), “**Semangat Berhemat Energi: Belajar dari Negara Maju**”. *Google Search Engine*, Indonesia.
- [10] Satake, 2006 “*Biomass Gasification and Solution for Agro Waste*”, Japan.
- [11] Rajvanshi, A., 2006, *Biomass Gasification - chapter 4 in book Alternative Energy in Algriculture*. Y. Goswani., India.

- [12] Frank P. Incropera, David P. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 4th edition*, John Wiley & Sons, USA, 1996.
- [13] Guo F., 2014. **Effect Of Design and Operating Parameters on the Gasification Process of Biomass in a Downdraft Fixed Bed: An Experimental Study**. China University of Mining and Technology, Xuzhou.
- [14] Maulana, A.R. 2015. **Karakteristik Unjuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Sistem Dual Fuel Solar dan Syngas Serbuk Kayu**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin ITS. Surabaya.
- [15] Sudarmanta, Bambang. 2015. *Dual Fuel Engine Performance Using Biodiesel and Syn-Gas from Rice Husk Downdraft Gasification for Power Generation*. International Seminar Mechanical Engineering Department, Faculty of Technology Industry, Sepuluh Nopember Institut of Technology. Surabaya, Indonesia.
- [16] Sudarmanta, B., Sungkono, D., Darsopuspito, S., Kadarisman, Isbunyamin. 2011. **Pengaruh Suhu Reaktor Gasifier dan Ukuran Partikel terhadap Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Limbah Kayu Pada Reaktor Gasifier Tipe Downdraft**. Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya, Indonesia.

BIODATA PENULIS



Akbar Adrieq, dilahirkan di Cirebon pada tanggal 26 Oktober 1992. Penulis adalah putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Adnan Widya dan Rofikoh. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 11 Pondok Labu, Jakarta Selatan dan lulus pada tahun 2004. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Plus Yakpi, Susukan Kabupaten Cirebon, lulus pada tahun 2007. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Negeri 6 Cirebon, lulus pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Diploma 3 Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta dan lulus pada tahun 2013. Selama menempuh pendidikan Diploma 3 penulis aktif diberbagai kegiatan serta mendapatkan beberapa sertifikat internasional dibidang CAD (*Computer Aided Design*). Pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin ITS penulis mendapatkan banyak pengetahuan dan ilmu baru yang bermanfaat. Segala bentuk informasi, kritik dan saran mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui *e-mail* adrieqa@yahoo.co.id