

**MODEL MATEMATIKA BIO-STOVE DAN DIVERIFIKASI  
SECARA EKSPERIMENTAL**

(Skripsi)



**Disusun Oleh :**  
**Obbie Purnama Ajie**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2019**

## ABSTRAK

### MODEL MATEMATIKA BIO-STOVE DAN DIVERIFIKASI SECARA EKSPERIMENTAL

Oleh:  
**OBBIE PURNAMA AJIE**

Meningkatnya pertumbuhan penduduk di Indonesia berdampak pada meningkatnya kebutuhan bahan bakar di masyarakat. Dengan cadangan energi fosil yang semakin menipis pemanfaatan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil perlu dilakukan. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan sampah kota menjadi bio-oil melalui proses pirolisis. Bio-stove merupakan kompor modern yang digunakan untuk mengkonversi bio-oil menjadi gas sebagai energi alternatif pengganti gas LPG untuk kegiatan rumah tangga. Tujuan penelitian ini adalah memperoleh model matematika untuk mengetahui waktu pemakaian, penurunan tekanan dan penurunan volume bahan bakar melalui simulasi dan diverifikasi dengan pengujian. Simulasi dilakukan pada tekanan awal 3 bar, 5 bar, 7 bar, diameter nosel 0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm, dan volume awal 7300 ml dengan menggunakan *Visual Basic for Application* (VBA) pada software Ms. Excel. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah kecepatan aliran tertinggi terjadi pada  $P_0 = 7$  bar dan diameter nosel 0,2 mm. Laju penurunan tekanan terbesar dan laju penurunan volume bahan bakar terbesar terjadi pada  $P_0 = 7$  bar dengan diameter nosel 0,6 mm. Model matematika yang diperoleh untuk penurunan tekanan dan volume bahan bakar memiliki eror rata-rata berkisar antara 1,4 – 7,6%.

**Kata kunci:** *bio-stove*, pirolisis, VBA, LPG, ms. excel, model matematika.

## **ABSTRACT**

### **MATHEMATICAL MODEL OF BIO-STOVE AND VERIFIED BY EXPERIMENTAL**

**By:  
OBBIE PURNAMA AJIE**

Increasing population growth in Indonesia has an impact on increasing fuel demand in society. with fossil energy reserves that are increasingly depleting the use of alternative energy sources as a substitute for fossil fuels needs to be done. One alternative energy source that can be applied is the utilization of municipal waste into bio-oil through pyrolysis process. Bio-stove is a modern stove that is used to convert bio-oil into gas as an alternative energy for LPG gas for household activities. The purpose of this study is to obtain a mathematical model to determine the usage time, pressure drop and decrease in fuel volume through simulation and verified by testing. The simulation was carried out at the initial pressure of 3 bars, 5 bars, 7 bars, nozzle diameter 0.2 mm; 0.4 mm; 0.6 mm, and the initial volume of 7300 ml using Visual Basic for Application (VBA) in Ms. Excel software. The results obtained from this study are that highest flow velocity occurs at  $P_0 = 7$  bar and nozzle diameter is 0.2 mm. The biggest pressure drop rate and the largest reduction in fuel volume occur at  $P_0 = 7$  bar with a nozzle diameter of 0.6 m. The mathematical model obtained for pressure drop and decrease in fuel volume has an average error ranging from 1.4 to 7.6%

**Keywords:** bio-stove, pyrolysis ,VBA, LPG, ms. Excel, mathematical model.

**MODEL MATEMATIKA BIO-STOVE DAN DIVERIFIKASI  
SECARA EKSPERIMENTAL**

Oleh

*Obbie Purnama Ajie*

**Skripsi  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2019**

Judul Skripsi : **MODEL MATEMATIKA BIO-STOVE DAN  
DIVERIFIKASI SECARA EKSPERIMENTAL**

Nama Mahasiswa : **Obbie Purnama Ajie**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1415021064**


Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**


**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

  
**Indra Maman Gandidi, S.T., M.T.**  
NIP. 19770307 199903 1 002

  
**Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**  
NIP. 19711214 200012 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**  
NIP. 19740816 200012 1 001

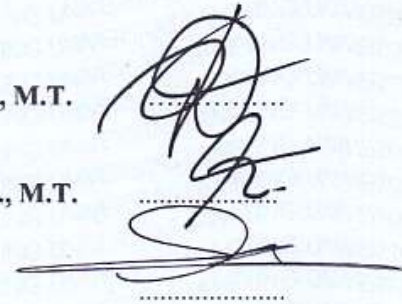
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Indra Mamad Gandidi, S.T., M.T.**

Anggota Penguji : **Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**

Penguji Utama : **Dr. Amrul, S.T., M.T.**



.....  
.....  
.....



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

  
**Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **21 Juni 2017**

**PERNYATAAN PENULIS**

**TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN  
HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27  
PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT  
KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010**

**YANG MEMBUAT PERNYATAAN**



**Obbie Purnama Ajie**  
**NPM. 1415021064**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung pada tanggal 3 Juli 1996, yang merupakan anak kedua dari 4 bersaudara, dari pasangan Priyowibowo dan Sri Hernaeni Widyaningsih. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri (SDN) 7 Gadingrejo pada tahun 2008, kemudian pendidikan Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Gadingrejo yang diselesaikan pada tahun 2011 dan kemudian penulis melanjutkan pendidikan pada Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Gadingrejo dan diselesaikan pada tahun 2014. Selama masa sekolah, penulis mengikuti kegiatan ekstrakurikuler yaitu Pramuka, Paskibra, Musik, MPK dan OSIS. Pada tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) Undangan berdasarkan nilai rapor.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Sekertaris Bidang Organisasi dan Kepemimpinan (2015 s.d. 2016) dan Ketua Bidang Organisasi dan Kepemimpinan (2016 s.d. 2017), lalu Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) Universitas Lampung sebagai Staff Dinas Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) (2015 s.d. 2016). Pada tahun 2017, penulis melakukan kerja praktik di PT. So Good Food, Lampung, dengan topik bahasan yaitu **Analisis Energi Terhadap Performa Boiler Tipe *Fluidized Bed Combustion***. Penulis melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “**Model Matematika Bio-Stove dan Diverifikasi Secara Eksperimental**”.



PERSEMBAHAN INI PENULIS TUNJUKKAN KEPADA

MAMA TERCINTA (SRI HERNAINI WIDYANINGSIH)

PAPA TERCINTA (PRIYOWIBOWO)

KAKAK TERSAYANG (DIMAS ADITYAWARMAN)

ADIK - ADIK TERSAYANG (ANDRE LAKSAMANA GHOZY, ANDINE

YASINTA PRILY)

DOSEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS LAMPUNG

SAHABAT GDR-SQUAD

SAHABAT TANJUNG SENANG MILITARY BASE

SAHABAT FORUM ANAK

SAHABAT TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS LAMPUNG

## Motto

يُسْرًا أَلْتَسِرَ مَعِ فَإِنَّ (٥) يُسْرًا أَلْتَسِرَ مَعِ إِنَّ (٦)

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,  
(5) sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. (6)"

(Q.S. Asy Syarh [94] : 5 ; 6)

تُكْذِبَانِ رَبُّكُمْ آءِ فَبِأَيِّ (١٣)

"Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu  
dustakan?"

(Q.S. Ar Rahman [55] : 13)

"Apabila kamu telah membulatkan tekad, maka bertawakkallah  
kepada Allah. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang  
bertawakkal kepada-Nya" (Q.S. Ali Imron [3] : 159)

## SANWACANA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdu lillahi rabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa mencurahkan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**Model Matematika Bio-Stove dan Diverifikasi Secara Eksperimental**" dengan sebaik-baiknya. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak menerima bantuan, baik berupa moril maupun materil dan bimbingan dari semua pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Indra Mamad Gandidi, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing utama atas kesediaannya membimbing dan memberi masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, serta memberikan banyak motivasi dan semangat kepada penulis.
2. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir, atas kesediaan dan keikhlasannya untuk berbagi ilmu, memberi dukungan, membimbing, memberi kritik maupun saran yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya.

3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku dosen pembahas dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini, yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
4. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, yang selalu memberikan semangat motivasi dan nasihat kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun teladan dan motivasi sehingga dapat dijadikan bekal untuk terjun ke tengah masyarakat.
6. Keluarga tercinta, terutama untuk dua orang terhebat dalam hidup penulis, Mama (Sri Hernaeni Widyaningsih) dan Papa (Priyowibowo), juga kakak (Dimas Adityawarman) dan adik-adik (Andre Laksamana Ghozy) yang telah memberikan dukungan semangat, moril maupun materil serta selalu mendoakan yang terbaik untuk penulis.
7. Hilda Widya Wati, yang selalu memberi semangat dan mewarnai hari-hari saya serta sebagai motivasi terbesar penulis dalam menyelesaikan studi sarjananya.
8. Teman-teman dari Tanjung Senang Military Base (HAW, Christian, Doni, M Nur, dan Ncam)
9. Teman-teman GDR Squad (Andra, Riza, Rizky, Irfan, Rio, Ricky, Gilang, Sholeh, Bagas, dan Ardi) yang sudah menjadi sahabat-sahabat terbaik.

10. Fasilitator FAD Squad (Ayuk Amel, Dian, Zidane, dan Haviz) yang telah memberikan motivasi kepada penulis.
11. Adik-adik FAD Lampung yang tidak bias penulis tuliskan satu persatu, terimakasih telah mewarnai perjalanan hidup penulis.
12. Rekan-rekan Teknik Mesin yang tidak bisa saya tuliskan satu persatu, terima kasih telah memberikan dukungan dan semangatnya.
13. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan serta kekurangan. Menyadari hal tersebut dengan segala kerendahan hati penulis akan menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca untuk kesempurnaan skripsi ini, yang tentunya akan lebih mendorong kemajuan penulis dikemudian hari.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

**Wassalamu'alaikum Wr. Wb.**

Bandar Lampung, 28 Juni 2019  
Penulis,

Obbie Purnama Ajie

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN PENULIS</b> .....	v
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vi
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	viii
<b>SANWACANA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xvii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	5
1.3. Batasan Masalah .....	5
1.4. Sistematika Penulisan .....	6

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Sampah Perkotaan .....	8
2.2. Bahan Bakar Minyak .....	10
2.3. Proses dan Produk Pirolisis .....	11
2.4. Bejana Tekan .....	14
2.5. Fluida .....	16
2.6. Model Matematika .....	20
2.7. <i>Bio-stove</i> .....	23

## **III. METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	24
3.2. Tahapan Penelitian .....	24
3.3. Simulasi <i>Bio-stove</i> .....	27
3.4. Model Matematika <i>Bio-stove</i> .....	29
3.5. Alat dan Bahan .....	29
3.6. Metode Pengujian .....	33
3.7. Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	34

## **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Penurunan Persamaan untuk <i>Bio-stove</i> .....	35
4.2. Simulasi dengan Variasi Tekanan Awal dan Variasi Diameter Nosel .....	36
4.3. Model Matematika <i>Bio-stove</i> .....	44
4.4. Validasi Model Matematika dengan Pengujian .....	46

## **V. Penutup**

5.1. Kesimpulan .....	53
-----------------------	----

5.2. Saran ..... 52

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Distribusi produk dalam proses pirolisis.....	14
Tabel 2.2 Spesifikasi tabung Biostove.....	23
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian .....	24
Tabel 3.2 Data awal pada simulasi.....	27

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bejana Tekan Vertikal.....	15
Gambar 2.2 Bejana Tekan Horizontal .....	15
Gambar 2.3 Kontinuitas .....	18
Gambar 2.4 Persamaan Bernoulli .....	19
Gambar 2.5 Rancang bangun Biostove .....	23
Gambar 3.1 Biostove .....	30
Gambar 3.2 Kompresor .....	30
Gambar 3.3 <i>Stopwatch</i> .....	31
Gambar 3.5 <i>Pressure Gauge</i> .....	31
Gambar 3.6 Gelas Ukur .....	32
Gambar 3.7 Ms. Excel .....	32
Gambar 3.8 <i>Kerosene</i> atau Minyak Tanah .....	33
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian .....	34
Gambar 4.1 Grafik perubahan tekanan di dalam tangki Bio-stove dengan variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,2$ mm .....	37
Gambar 4.2 Grafik perubahan tekanan di dalam tangki Bio-stove dengan variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,4$ mm .....	37

Gambar 4.3 Grafik perubahan tekanan di dalam tangki Bio-stove dengan variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,6 \text{ mm}$ .....	38
Gambar 4.4 Grafik pengaruh variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,2 \text{ mm}$ terhadap kecepatan aliran minyak keluar nosel .....	39
Gambar 4.5 Grafik pengaruh variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,4 \text{ mm}$ terhadap kecepatan aliran minyak keluar nosel .....	40
Gambar 4.6 Grafik pengaruh variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,6 \text{ mm}$ terhadap kecepatan aliran minyak keluar nosel .....	40
Gambar 4.7 Grafik pengaruh variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,2 \text{ mm}$ terhadap perubahan volume minyak di dalam tangki .....	41
Gambar 4.8 Grafik pengaruh variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,4 \text{ mm}$ terhadap perubahan volume minyak di dalam tangki .....	42
Gambar 4.9 Grafik pengaruh variasi tekanan awal pada $d_{\text{pipe}} = 0,6 \text{ mm}$ terhadap perubahan volume minyak di dalam tangki .....	43
Gambar 4.10 Grafik perbandingan penurunan tekanan model matematika dengan variabel waktu dan pengujian pada $P_0 = 3 \text{ bar}$ dan $d_{\text{pipe}} = 0,2 \text{ mm}$ .....	46
Gambar 4.11 Grafik perbandingan penurunan tekanan model matematika dengan variabel waktu dan pengujian pada $P_0 = 5 \text{ bar}$ dan $d_{\text{pipe}} = 0,2 \text{ mm}$ .....	47
Gambar 4.12 Grafik perbandingan penurunan tekanan model matematika dengan variabel waktu dan pengujian pada $P_0 = 7 \text{ bar}$ dan $d_{\text{pipe}} = 0,2 \text{ mm}$ .....	47
Gambar 4.13 Grafik perbandingan model matematika perubahan volume minyak di dalam tangki dengan variabel waktu dan pengujian pada $P_0 = 3 \text{ bar}$ dan $d_{\text{pipe}} = 0,2 \text{ mm}$ .....	48

Gambar 4.14 Grafik perbandingan model matematika perubahan volume minyak di dalam tangki dengan variabel waktu dan pengujian pada $P_0 = 5$ bar dan $d_{\text{pipe}} = 0,2$ mm .....	49
Gambar 4.15 Grafik perbandingan model matematika perubahan volume minyak di dalam tangki dengan variabel waktu dan pengujian pada $P_0 = 7$ bar dan $d_{\text{pipe}} = 0,2$ mm .....	49
Gambar 4.16 Grafik perbandingan model matematika perubahan volume minyak di dalam tangki dengan variabel tekanan dan pengujian pada $P_0 = 3$ bar dan $d_{\text{pipe}} = 0,2$ mm .....	50
Gambar 4.17 Grafik perbandingan model matematika perubahan volume minyak di dalam tangki dengan variabel tekanan dan pengujian pada $P_0 = 5$ bar dan $d_{\text{pipe}} = 0,2$ mm .....	51
Gambar 4.18 Grafik perbandingan model matematika perubahan volume minyak di dalam tangki dengan variabel tekanan dan pengujian pada $P_0 = 7$ bar dan $d_{\text{pipe}} = 0,2$ mm .....	51

## DAFTAR SIMBOL

$v_t$	= kecepatan aliran minyak keluar nosel pada waktu	(m/s)
$A_1$	= luas penampang tabung	(m <sup>2</sup> )
$A_2$	= luas penampang nosel	(m <sup>2</sup> )
$g$	= percepatan gravitasi	(m/s <sup>2</sup> )
$P_0$	= tekanan awal	(Pa) (bar)
$P$	= Tekanan	(Pa) (bar)
$V_0$	= volume awal minyak	(m <sup>3</sup> )
$Vm_t$	= kecepatan aliran minyak	(m/s)
$\gamma$	= berat jenis	(N/m <sup>3</sup> )
$P_2$	= Tekanan lingkungan	(Pa) (bar)
$h$	= selisih tinggi penampang pipa dan penampang tabung	(m)
$R$	= konstanta gas untuk udara	(J/kg.K)
$m$	= massa	(kg)
$d_{\text{pipe}}$	= diameter nosel	(m)
$D_{\text{tube}}$	= diameter tabung	(m)
$\rho$	= massa jenis	(kg/m <sup>3</sup> )
$t$	= waktu	(s) (min)

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia dihadapkan oleh lonjakan jumlah penduduk yang sangat signifikan. Pada tahun 2016, laju pertumbuhan penduduk di Indonesia mencapai 1.36 % dengan jumlah penduduk mencapai 266,91 juta jiwa (BPS, 2017). Terus bertambahnya jumlah penduduk Indonesia serta gaya hidup konsumtif masyarakat Indonesia ini berdampak pada kebutuhan energi nasional terutama energi dalam bentuk bahan bakar minyak (BBM) di sektor rumah tangga, transportasi, dan industri.

Dengan semakin naiknya kebutuhan BBM nasional, Indonesia sedang berada di ambang krisis energi. Jumlah konsumsi BBM di Indonesia pada tahun 2016 mencapai 66,9 juta kiloliter, sedangkan jumlah produksi BBM hanya di angka 36 juta kiloliter dan pertumbuhan rata-rata konsumsi tiap tahunnya sebesar 1,76 % (KESDM, 2016). Kesenjangan antara *supply* dan *demand* BBM tersebut mengharuskan Pemerintah Indonesia mengimpor minyak mentah untuk memenuhi kebutuhan nasional.

Selain ketimpangan dalam produksi dan konsumsi BBM, jumlah cadangan minyak mentah dalam negeri di Indonesia pun menjadi sorotan penting yang mengkhawatirkan. Di tahun 2016, jumlah cadangan minyak mentah terbukti di Indonesia hanya berada di angka 3,3 milyar barel dan cadangan minyak mentah potensial sebesar 3,9 milyar barel dengan produksi minyak mentah mencapai 736 ribu barel/hari (KESDM, 2017). Dengan angka produksi tersebut, cadangan minyak mentah Indonesia akan habis dalam rentan waktu 25 – 30 tahun mendatang. Dengan cadangan energi fosil yang semakin menipis pemanfaatan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil perlu dilakukan.

Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan sampah kota. Sampah merupakan material sisa aktivitas makhluk hidup yang mempunyai energi tersimpan dalam bentuk ikatan kimia. Energi tersimpan yang dapat dibangkitkan dari sampah kota senilai  $\pm 20,57$  MJ/kg (Pasek, 2007). Selain itu, ketersediaan sampah kota selalu ada dan cenderung meningkat serta tersedia dalam jumlah yang sangat besar. Jumlah timbulan sampah yang terus meningkat inilah yang menjadi masalah krusial kota-kota besar di Indonesia karena penanganannya yang sudah tidak lagi efektif, yaitu dengan mengandalkan metode *open dumping* dimana sampah dikumpulkan di tempat pembuangan sementara (TPS) dan diangkut untuk dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA). Apabila sampah yang ada di TPA ini terus dibiarkan, maka sampah-sampah ini akan menyebabkan masalah lingkungan seperti banjir, pencemaran air tanah, bau tak sedap (Alexandra, 2012) dan apabila

sampah dibiarkan dalam jangka waktu yang lama akan terdegradasi secara perlahan menjadi gas metan, dimana gas metan 20x lebih berbahaya dibandingkan gas CO<sub>2</sub> terhadap efek rumah kaca (DICLA, 2013).

Sayangnya, penelitian tentang bio-oil dari sampah plastik dan sampah campuran hanya berfokus sebagai pengganti bahan bakar pada sistem *internal combustion* yang digunakan pada kendaraan bermotor. Penelitian tersebut memiliki banyak kekurangan, karena bio-oil dari sampah memerlukan biaya produksi yang tinggi untuk menghasilkan bio-oil yang aman digunakan pada kendaraan bermotor. Bahkan tidak sembarang sampah yang bisa dijadikan bahan bakar serupa *gasoline*, dan *diesel* yang aman digunakan untuk sistem *internal combustion*. Sampah plastik seperti HDPE, LDPE, PE, dan PP dapat dikonversikan menjadi *gasoline* dengan teknik pirolisis pada temperature 400-600 °C dan sampah biomasa dikonversikan sebagian besar menjadi *heavy oil* dan *diesel* pada temperature 350-500 °C. (Safferina dkk, 2016)

Peluang yang dapat diambil adalah bahan bakar alternatif tidak hanya dibutuhkan oleh sistem *internal combustion* pada kendaraan bermotor saja melainkan juga dibutuhkan oleh sistem *external combustion* pada kompor masak untuk menunjang kegiatan rumah tangga dan UMKM. Contohnya penggunaan gas LPG pada kegiatan memasak di rumah tangga dan kegiatan produksi di UMKM. Dalam APBN 2018, subsidi bahan bakar minyak konvensional dan subsidi LPG bernilai Rp 46,9 triliun (Kemenkeu, 2018). Berdasarkan masalah tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut yang



mengkaji tentang aplikasi bahan bakar alternatif sebagai pengganti LPG yang nyaman digunakan pada kegiatan rumah tangga dan UMKM serta untuk menghemat APBN Indonesia selanjutnya.

Untuk digunakan pada kompor masak, bio-oil dirasa kurang nyaman oleh masyarakat jika kompor yang digunakan adalah kompor bersumbu, karena kebiasaan masyarakat yang telah dimanjakan dengan penggunaan praktis kompor gas LPG. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah inovasi teknologi berupa kompor yang dapat mengaplikasikan bio-oil dari sampah yang nyaman digunakan oleh masyarakat.

Kompor yang memiliki tabung penyimpanan bahan bakar hampir serupa dengan LPG namun memiliki ruang ganda, dimana kompor ini memanfaatkan bio-oil yang ditekan oleh udara pada tekanan tinggi untuk meningkatkan laju aliran bio-oil yang dialirkan pada pipa nosel menuju *vaporizer* sebagai outlet bio-oil ke kompor sehingga bio-oil yang keluar berupa vapor/kabut. Teknologi ini disebut Bio-stove.

Penelitian ini ditujukan untuk membuat model matematika untuk kompor Bio-stove dan memverifikasinya secara eksperimental melalui pengujian performanya dengan menggunakan beberapa variasi bahan bakar yang berbeda yakni bio-oil dari sampah plastik LDPE, PP dan *kerosene* dengan variasi tekanan dan waktu uji. Untuk melihat kualitas api dan performa Bio-stove akan

dilakukan pengamatan pada warna api, temperatur api, dan laju penggunaan bahan bakar di dalam tabung.

## 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi tekanan awal pada perubahan tekanan dan volume minyak di dalam tangki Bio-stove.
2. Mengetahui pengaruh variasi diameter nosel pada penurunan tekanan dan perubahan volume minyak sisa di dalam tangki Bio-stove.
3. Memperoleh model matematika Bio-stove untuk penurunan tekanan dengan variabel waktu, perubahan volume minyak sisa dengan variabel waktu, dan perubahan volume minyak sisa dengan variabel tekanan.

## 1.3 Batasan Masalah

Kajian pada penelitian ini difokuskan untk mengetahui rasio tekanan udara dan volume bahan bakar untuk sekali isi ulang pada Bio-stove. Adapun beberapa batasan untuk kajian ini sebagai berikut :

1. Simulasi dilakukan dengan perhitungan matematis menggunakan persamaan hasil penurunan dari persamaan bernouli, persamaan kontinuitas, dan persamaan ideal gas.
2. Simulasi menggunakan *Visual Basic for Application* pada Ms. Excel.
3. Simulasi dengan variasi tekanan awal 3 bar, 5 bar, 7 bar dan variasi diameter nosel 0,2 mm ; 0,4 mm ; 0,6 mm.

4. Model Matematika diperoleh berdasarkan simulasi yang dilakukan.
5. Bio-stove dibuat menggunakan 2 buah tabung gas LPG 3kg dengan diameter dalam adalah 254 mm yang disatukan menggunakan pipa berukuran 1 inchi dan diberi pipa *outlet* bahan bakar berupa nosel berukuran 0,2 mm yang diberi katup berupa *gate valve* dan alat pembaca tekanan.
6. Bahan bakar yang digunakan untuk pengujian adalah *kerosene*.
7. Variasi tekanan awal yang digunakan pada pengujian adalah 3 bar, 5 bar dan 7 bar.
8. Volume bahan bakar yang digunakan adalah volume maksimal tangki bahan bakar yakni 7,3 liter.

#### **1.4 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan, menguraikan latar belakang masalah secara jelas, tujuan; yang memaparkan diadakannya penelitian ini, batasan masalah; yang diberikan pada penelitian agar hasil penelitian lebih terarah, sistematika penulisan; format yang dipakai pada penulisan laporan.

Bab II Tinjauan Pustaka, berisi landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori-teori dasar yang meliputi: penjelasan sampah kota, rumus

bernoulli, bejana tekan, model matematika, kompor bertekana konvensional, serta karakteristik bahan bakar yang digunakan.

Bab III Metodologi, berisi tempat dan waktu penelitian akan dilakukan, dan alur tahapan pelaksanaan penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi tentang hasil simulasi model matematika Bio-stove dan analisa data yang didapat dari uji simulasi dan eksperimen.

Bab V Penutup, berisi kesimpulan dan saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sampah Perkotaan

*Municipal Solid Waste* ( MSW ) atau sampah kota merupakan sumber daya energi dengan potensi yang memberikan sejumlah energi besar untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar cair. MSW didefinisikan sebagai limbah rumah tangga, limbah padat komersial, limbah kondisional, dan limbah padat industri. Ini termasuk sisa makanan, sampah perumahan , komersial dan limbah industri. Komposisi MSW biasanya dikategorikan seperti kertas, plastik, karet dan kulit, tekstil dan kayu. Selain itu ada beberapa jenis lainnya yaitu limbah yang dihasilkan dari konsumen pasar berupa makanan dan limbah organik lainnya (Valkenburg, 2008). Sampah kota merupakan material hasil buangan aktivitas manusia dapat dianggap sebagai bahan bakar karena mengandung unsur H, C, O dalam ikatan polimer (Pasek, 2007).

Jumlah sampah padat yang berada di kota Bandar Lampung sangat berlimpah yaitu sebanyak 750 ton/hari (bandarlampungkota.go.id, 2013). Dengan jumlah yang begitu besar, tentunya terdapat energi yang tersimpan didalamnya. Energi ini yang dapat dimanfaatkan oleh manusia serta dapat mengurangi masalah penumpukan sampah. Menurut Ari D. Pasek dkk, nilai kalor dari sampah kota

sebesar 20,57 MJ/Kg. Untuk menghitung nilai laju energi yang sampah dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Et = Bs \times Es \quad (2.1)$$

Dimana :

$Et$  = Energi Total Sampah (MW)

$Bs$  = Berat Sampah (Kg/hari)

$Es$  = Nilai Kalor Sampah (MJ/Kg)

Dari persamaan 1 kita dapat menghitung besar energi yang dapat dihasilkan oleh sampah kota Bandar Lampung. Diketahui berat sampah sebesar 750 Ton/hari dan nilai kalor sampah sebesar 20,57 MJ/Kg.

$$\begin{aligned} Et &= 750.000 \text{ Kg/hari} \times 20,57 \text{ MJ/Kg} \\ &= 15.427.500 \text{ MJ/hari} \\ &= 15.427 \text{ GJ/hari} \\ &= 178,55 \text{ MW} \end{aligned}$$

Melihat besarnya laju energi yang dapat dihasilkan dari sampah tersebut, perlu adanya suatu metode dalam pengolahan limbah sampah. Sehingga nantinya sampah dapat dimanfaatkan dengan baik dan tidak mencemari lingkungan.

## 2.2 Bahan Bakar Minyak

Dalam minyak bumi terdapat senyawa selain hidrokarbon yaitu senyawa organik seperti belerang, oksigen, dan logam-logam. Pencampuran premium dengan minyak tanah dapat meningkatkan senyawa-senyawa belerang yang berdampak pada kerugian bahan bakar motor seperti pembakaran membentuk Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan Sulfur Oksida ( $\text{SO}_x$ ) (Dewi, dkk. 2010).

### 2.2.1 Bensin

Bensin atau gasoline adalah cairan yang mengandung senyawa hidrokarbon berasal dari minyak bumi, digunakan umumnya sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Ada tiga jenis bensin antara lain :

- a. Bensin dari penyulingan minyak mentah secara langsung yang disebut bensin langsung.
- b. Bensin dari gas alam disebut bensin alam.
- c. Bensin dari perengkahan minyak bumi yang lebih berat dari bensin biasa, perengkahan ini menghasilkan jumlah bagian bensin pada minyak bumi dapat bertambah, jenis ini disebut bensin reengkahan.

### 2.2.2 Minyak Tanah

Minyak tanah atau disebut juga kerosen merupakan cairan hidrokarbon tak berwarna yang mudah terbakar. Minyak tanah diperoleh dari hasil destilasi bertingkat dari minyak bumi pada  $150^\circ\text{C}$  dan  $275^\circ\text{C}$  (rantai karbon  $\text{C}_{12}$ -  $\text{C}_{15}$ ). Minyak tanah umumnya digunakan untuk lampu minyak dan kompor, selai itu juga banyak digunakan sebagai bahan

bakar mesin jet. Minyak tanah yang dikenal sebagai RP-1 digunakan sebagai bahan bakar roket yang pada proses pembakarannya menggunakan oksigen cair.

Kerosen yang digunakan sebagai bahan bakar jet memiliki spesifikasi khusus terutama titik asap dan titik beku. Kerosene juga dapat digunakan untuk membasmi serangga.

### 2.2.3 Pertamax

Pertamax yakni bahan bakar minyak dengan nilai oktan 92 dengan stabilitas oksidasi yang tinggi dan kandungan olefin, aromatic dan benzene-nya pada level yang rendah sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna pada mesin. Pertamax tidak menggunakan campuran timbal dan metal yang sering digunakan pada bahan bakar lain untuk meningkatkan nilai oktan. Kemampuan membersihkan mesin dari timbunan deposit dan menekan kandungan racun gas buang kendaraan bermotor, membuat kinerja mesin meningkat dan lebih bertenaga, serta ramah lingkungan (Sari, dkk, 2010).

## 2.3 Proses dan Produk Pirolisis

Pirolisis adalah proses perlakuan panas pada material biomasa yang dikonversi menjadi produk berupa cair (*bio-oil*), padat (*bio-coal*) dan gas (*syngas*) dalam suatu reaktor tanpa kehadiran oksigen di dalam reaktor. Panas yang diberikan



yaitu mulai dari temperatur 250°C sampai dengan temperatur 1000°C. Temperatur adalah faktor yang paling penting untuk produk hasil pirolisis. Biasanya temperatur yang sering digunakan yaitu berkisar 300°C - 600°C untuk produk dominan *liquid*.

Jika pirolisis ditujukan untuk mendapatkan hasil maksimal dalam bentuk produk *liquid*, temperatur operasi yang rendah (425-600 °C) dengan laju pemanasan yang tinggi merupakan kondisi operasi pirolisis yang dibutuhkan (*fast pyrolysis*). Jika tujuan pirolisis untuk mendapatkan hasil maksimal pada bahan bakar gas, maka temperatur operasi yang tinggi (> 600 °C) dan laju pemanasan yang tinggi, merupakan kondisi operasi yang sesuai (*flash pyrolysis*). Untuk produksi bio-arang (solid) maksimal, bio-gas dan bio-oil secara simultan, maka dapat digunakan teknik *slow pyrolysis* dimana temperatur operasi yang rendah (400 °C) dan laju pemanasan yang rendah (5-10 °C/min). Hal ini merupakan kondisi operasi yang memenuhi dan untuk mendapatkan bahan bakar padat dengan densitas energi yang tinggi dapat dilakukan dengan teknik pirolisis (*mild pyrolysis*) pada temperature 200-300 °C dengan laju pemanasan yang rendah (Demirbas, 2009)

Temperatur operasi yang banyak digunakan dalam proses pirolisis cepat adalah antara 350°C - 500°C dimana menghasilkan produk *liquid* maksimum (Chew, 2011). Sebagai contoh, proses pirolisis cepat pada biomasa sekam padi dimana hasil *liquid* yang paling tinggi didapat pada temperatur 500°C dengan ukuran partikel 1.18-1.80 mm dan laju pemanasan 60°C/min (Natarajan, 2009) dan

biomasa kayu yang dipirolisis lambat memberikan hasil bio-arang maksimal pada 275 °C dan terjadi penurunan hasil tar (Wannapeera, 2011).

Adisak Pattiya., et al, 2012, melakukan uji pirolisis cepat pada 350°C - 450°C dengan bahan baku limbah singkong dan mendapatkan bio-oil sebesar 75% (Pattiya, 2012). Hasil bio-oil 49.5% dan 57% akan diperoleh jika menggunakan bahan baku limbah kelapa sawit dan sekam padi pada temperatur 400-600 °C (Ngo, 2012). Jika proses pirolisis menggunakan bahan baku sebagian besar mengandung sampah , kertas dan karet mayoritas hasil yang didapat dalam bentuk *syngas* dan bio-oil (Syamsiro, 2015). Ini mengindikasikan bahwa sampah, kertas dan karet mengandung fixed karbon yang rendah dan kaya dengan unsur *volatile*.

Biogas dan *bio-oil* dapat digunakan sebagai bahan bakar *electrical gas engine*, diintegrasikan dengan siklus turbin yang dapat mengubah energi bahan bakar menjadi listrik (Zia Haq, 2002) dengan efisiensi pembakaran yang lebih baik dibandingkan pembakaran sampah (Klein, 2002) dan memberikan dampak pencemaran lingkungan yang sangat rendah (Gandidi, 2012). Produser gas dan bio-oil dapat juga digunakan sebagai bahan bakar untuk pengeringan hasil-hasil pertanian dan perkebunan (Gandidi, 2011) dan diproses lanjut menjadi bahan kimia seperti *methanol* (Verma, 2012). Persentase jumlah produk hasil proses pirolisis bergantung pada kondisi proses dan bahan baku yang digunakan (Preto, 2008).

Tabel 2.1. Distribusi produk dalam proses pirolisis (Ronsse, 2013).

	DISTRIBUSI PRODUK (wt%)			
	Torefaksi	Slow pyrolysis	Fast pyrolysis	Flash pyrolysis
Solid	75	35	20	12
Bio-oil	20	30	50	75
Singas	5	35	30	13

## 2.4 Bejana Tekan

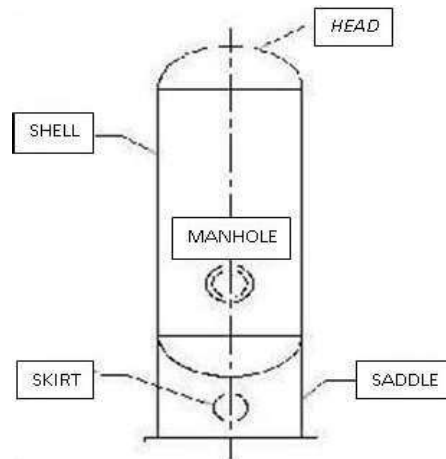
Bejana tekan (*pressure vessel*) merupakan suatu tempat atau wadah untuk menyimpan atau menampung suatu fluida, baik berupa cairan ataupun gas. Bejana tekan sering digunakan sebagai salah satu alat proses yang digunakan di suatu industri, khususnya pada industri kimia, perminyakan, dan pembangkit listrik. Bejana tekan dirancang agar mampu menampung atau menahan cairan atau gas yang memiliki temperatur maupun tekanan yang berbeda dari keadaan lingkungan. (Satrijo, 2012)

### 2.4.1 Klasifikasi bejana tekan

Menurut posisinya, bejana tekan dapat di klasifikasikan menjadi dua macam posisi (Aziz, 2014) yaitu :

#### a. Posisi Vertikal

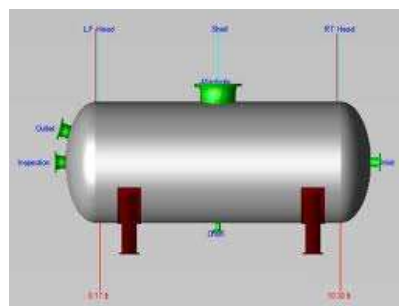
Posisi vertikal yaitu posisi tegak lurus bejana tekan terhadap sumbunya. Posisi ini banyak dipakai dalam instalasi anjungan minyak lepas pantai, yang mempunyai tempat terbatas.



Gambar 2.1 Bejana Tekan Vertikal

b. Posisi Horizontal

Bejana tekan posisi horizontal banyak digunakan di ladang minyak didataran karena memiliki kapasitas produksi yang lebih besar.



Gambar 2.2 Bejana Tekan Horizontal

## 2.5 Fluida

Fluida dapat mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida memiliki resistensi yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena faktor gesekan. Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan padanya gaya yang sangat besar.

Gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Dengan demikian kedua – duanya sering secara kolektif disebut sebagai fluida (Olson, 1990).

### 2.5.1 Sifat – sifat fluida

Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu: kerapatan (*density*)  $\rho$ , (*specific gravity*) (*s.g*), tekanan (*pressure*)  $P$ , kekentalan (*viscosity*)  $\mu$ .

#### a. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan (*density*)  $\rho$  suatu zat adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa per satuan volume. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung perbandingan massa zat

yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

Dimana:  $v$  = volume fluida ( $m^3$ )  
 $m$  = massa fluida (kg)  
 $\rho$  = rapat massa ( $kg/m^3$ )

Volume jenis ( $v$ ) adalah volume yang ditempati oleh sebuah satuan massa zat dan karena itu merupakan kebalikan dari kerapatan:

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (2.2)$$

berat jenis  $\gamma$  adalah gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat, maka:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.3)$$

Dimana:  $\rho$  = rapat massa ( $kg/m^3$ )  
 $g$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

*Spesific gravity* (*s.g*) adalah sifat yang digunakan untuk membandingkan kerapatan suatu zat dengan kerapatan air. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur serta tekanan, maka temperatur zat cair yang dipertanyakan, serta temperatur air yang dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mendapatkan harga-harga gravitasi jenis yang tepat (Olson, 1990).

### 2.5.2 Laju Aliran Massa

Laju aliran massa yang mengalir dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$$

$$\dot{m} = \frac{V \cdot A}{v} \quad (2.4)$$

Dimana:  $\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/s)

$V$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

$v$  = volume jenis ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

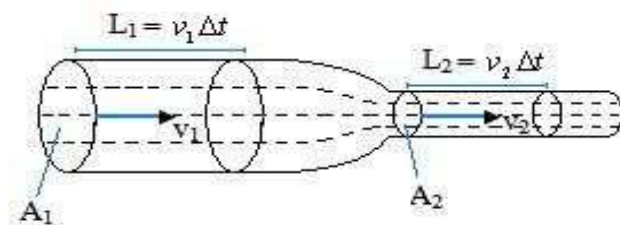
$A$  = luas penampang pipa ( $\text{m}^2$ )

laju aliran melalui  $A_1$  dan  $A_2$  harus sama, dengan demikian:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

disebut persamaan kontinuitas. Jika  $\rho_1 = \rho_2$ , maka persamaan kontinuitas menjadi:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2.5)$$



Gambar 2.3 Kontinuitas

### 2.5.3 Persamaan Bernoulli

Hukum kekekalan energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan namun dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Energi yang ditunjukkan dari persamaan energi total di atas, atau dikenal sebagai head pada suatu titik dalam aliran steady adalah sama dengan total energi pada titik lain sepanjang aliran fluida tersebut. Hal ini berlaku selama tidak ada energi yang ditambahkan ke fluida atau yang diambil dari fluida. Konsep ini dinyatakan ke dalam bentuk persamaan yang disebut dengan persamaan Bernoulli, yaitu (Munson, 2002)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.6)$$

Dimana :

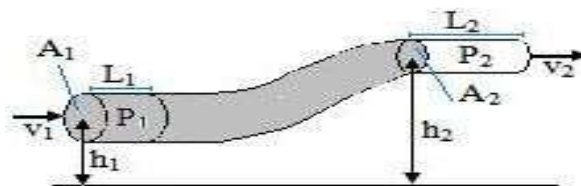
$p_1$  dan  $p_2$  = tekanan pada titik 1 dan 2

$v_1$  dan  $v_2$  = kecepatan aliran pada titik 1 dan 2

$z_1$  dan  $z_2$  = ketinggian titik 1 dan 2 diukur dari bidang referensi

$\gamma$  = berat jenis fluida

$g$  = percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/s}^2$



Gambar 2.4 Persamaan Bernoulli

Persamaan tersebut digunakan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan tipe aliran, umumnya untuk fluida inkompressibel tanpa



adanya penambahan panas atau energi yang diambil dari fluida. Namun, persamaan ini tidak dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida yang mengalami penambahan energi untuk menggerakkan fluida oleh peralatan mekanik. (Munson, 2002)

## **2.6 Model Matematika**

Model Matematika merupakan representasi matematika yang dihasilkan dari pemodelan Matematika. Pemodelan Matematika adalah proses merepresentasikan dan menjelaskan permasalahan melalui pernyataan matematis. Berikut ini suatu tahapan dasar dalam proses pemodelan matematika.

### **2.7.1 Tahapan Masalah**

Adanya masalah yang ingin dicari solusinya adalah awal kegiatan penentuan model matematika. Masalah tersebut harus jelas, dan diperiksa dengan teliti menurut kepentingannya. Bila masalahnya bersifat umum maka diupayakan menjadi masalah khusus atau operasional.

### **2.7.2 Karakterisasi Masalah**

Masalah yang ditemukan harus dilakukan karakterisasi, yaitu pengertian mendasar tentang masalah yang akan diselesaikan, termasuk pemilihan variabel yang relevan dalam pembuatan model matematika.

### 2.7.3 Formulasi Model Matematik

Formulasi model adalah terjemahan dari masalah kedalam persamaan matematik yang menghasilkan model matematik. Ini merupakan tahap yang paling penting. Pemahaman terhadap masalah yang dihadapi dan penguasaan matematik seseorang, akan sangat memudahkan dalam mencari modelnya.

### 2.7.4 Analisis

Analisis kemudian dilakukan dengan penilaian pada parameter serta deduksi sifat-sifat yang diperoleh dari model yang telah digunakan.

### 2.7.5 Validasi

Model yang didapat adalah jabaran masalah yang sudah disederhanakan, sehingga hasilnya mungkin terdapat perbedaan dengan kenyataan yang diperoleh. Untuk itu model yang diperoleh ini perlu divalidasi, sejauh mana model itu dapat dianggap memadai dalam merepresentasikan masalah yang dihadapi. Proses validasi ini sebenarnya sudah dimulai dalam tahap analisis, misalnya dalam hal konsistensi model terhadap kaedah-kaedah yang berlaku.

### 2.7.6 Solusi Matematika

Model yang telah disusun dapat digunakan untuk mencari solusi masalah yang diinginkan. Model suatu masalah sangat terkait dengan tujuan yang diinginkan. Masih terdapat kemungkinan bahwa model yang kita anggap memadai saat ini, dengan makin bertambahnya informasi yang terkumpul, suatu waktu nantinya mungkin dianggap tidak lagi memadai. Apalagi pengamatan dilakukan hanyalah sebagian

informasi yang tersedia. Pada tahap ini dilakukan interpretasi keluaran dari model dan dikonsultasikan pada bahasa masalah semula. (Widowati dan Sutimin, 2007)

## 2.7 Bio-Stove

Bio-stove dibuat menggunakan material plat baja SG 295 dari 2 buah tabung LPG 3 kg yang disatukan menggunakan pipa besi berdiameter 1 inchi secara konsentris. Masing-masing tabung berfungsi sebagai ruang penyimpanan bahan bakar minyak dan udara bertekanan yang dibutuhkan. Pada tabung penyimpanan udara bertekanan diberi katup *inlet* udara yang berfungsi untuk mengisi udara saat pengujian akan dimulai. Pada tabung ruang bahan bakar diberi *inlet* bahan bakar dan *outlet* berupa pipa tembaga berdiameter 2 mm. Pada pipa *outlet* bahan bakar diberi katup berupa *gate valve* untuk mengatur jumlah aliran bahan bakar yang keluar. Di ujung pipa *outlet* bahan bakar diberi nosel yang berfungsi untuk menginjeksi bahan bakar agar bahan bakar minyak mengalir dengan kecepatan tinggi ke *burner*. Berikut adalah spesifikasi *prototype* Biostove yang mengacu pada analisis pembuatan tabung gas LPG 3 kg. (Mustofa, 2010)

Tabel 2.2 Spesifikasi tabung Biostove

Spesifikasi	Satuan
Diameter dalam tabung	254 mm
Tebal plat tabung	2,3 mm
Tinggi tabung	300 mm
Tekanan maksimal	3.1 MPa
Kapasitas Air maksimal	7,3 liter
Diameter pipa penghubung	50 mm
Diameter pipa <i>outlet</i> bahan bakar	2 mm
Diameter nosel	0,2 mm



Gambar 2.5 Rancang bangun Biostove

### III. METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Pengambilan data penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung. Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2019 sampai dengan April 2019

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan jadwal tahapan kegiatan penelitian yang tersusun dibawah ini :

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian

Kegiatan	Bulan ke 1				Bulan ke 2				Bulan ke 3				Bulan ke 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Studi Literatur	■	■	■	■												
2 Penurunan Persamaan			■	■	■											
3 Simulasi				■	■	■	■									
4 Membangun model matematika						■	■	■								
5 Persiapan Alat									■							
4 Pengujian										■	■	■				
5 Analisis Data												■	■	■		
6 Penyusunan Laporan														■	■	■

### 3.2.1 Studi Literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur mengenai persamaan bernoulli, persamaan kontinuitas, ideal gas, bejana tekan, *pressure drop*, model matematika dan aplikasi minyak pirolisis sampah.

### 3.2.2 Penurunan Persamaan

Penurunan persamaan dilakukan dengan menggunakan persamaan dasar yakni persamaan bernoulli, persamaan kontinuitas dan persamaan ideal gas. Persamaan yang dihasilkan dari proses penurunan tersebut digunakan untuk proses simulasi.

### 3.2.3 Simulasi

Simulasi menggunakan software Ms. Excel guna mengetahui kecepatan aliran minyak keluar nosel, perubahan tekanan dan perubahan volume minyak di dalam tangki Biostove untuk memperoleh model matematika yang diinginkan.

### 3.2.4 Model Matematika

Model matematika dibangun berdasarkan hasil dari hasil simulasi. Model matematika yang akan diperoleh yakni model matematika untuk menentukan penurunan tekanan dengan variabel waktu, perubahan volume minyak sisa dengan variabel waktu, dan perubahan volume minyak sisa dengan variabel tekanan.

### 3.2.5 Persiapan Alat

Persiapan alat uji yakni *prototype* kompor *Bio-stove* yang di buat dengan menggunakan 2 buah tabung LPG yang di satukan menggunakan pipa besi berukuran 1 inci dan diberi inlet bahan bakar dan udara serta diberi outlet bahan bakar pada burner. Selain itu dipersiapkan juga alat pendukung pengujian berupa *pressure gauge*, gelas ukur dan *stopwath*.

### 3.2.6 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan dengan variasi tekanan, variasi waktu dan variasi volume bahan bakar. Selain itu pengujian digunakan sebagai varifikasi dari simulasi yang digunakan

### 3.2.7 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian *prototype* kompor *Biostove* digunakan sebagai dasar untuk analisis pengisian udara untuk menghabiskan volume maksimal bahan bakar dalam satu kali pengisian.

### 3.2.8 Penulisan Laporan

Penulisan Laporan adalah tahap akhir dari penelitian ini.

### 3.3 Simulasi Bio-stove

Simulasi digunakan untuk mengetahui penurunan tekanan penurunan volume minyak yang terjadi di dalam tangki Bio-stove dengan melakukan perhitungan matematika yang dibantu oleh *software* VBA Ms. Excel. Perhitungan matematika dilakukan dengan pendekatan pada persamaan Bernoulli, kontinuitas, dan gas ideal yang bertujuan untuk membuat model matematika untuk menghitung perubahan tekanan dan volume berdasarkan variabel waktu dan perubahan volume berdasarkan variabel tekanan. Berikut adalah komponen simulasi yang dilakukan :

#### 3.3.1 Data awal

Data awal merupakan data terukur tanpa melakukan perhitungan dan data yang didapat melalui referensi.

Tabel 3.2 Data awal pada simulasi

Data	Nilai	Satuan
Tekanan awal 1 ( $P_{01}$ )	300000	Pa
Tekanan awal 2 ( $P_{02}$ )	500000	Pa
Tekanan awal 3 ( $P_{03}$ )	700000	Pa
Tekanan lingkungan ( $P_2$ )	100000	Pa
Tinggi tabung ( $y$ )	0,19	m
Tinggi pipa ( $z$ )	0,29	m
Diameter tabung ( $D_{tube}$ )	0,254	m
Diameter pipa 1 ( $d_{pipe1}$ )	0,0002	m
Diameter pipa 2 ( $d_{pipe2}$ )	0,0004	m



Diameter pipa 3 ( $d_{\text{pipe}3}$ )	0,0006	m
Volume tabung ( $V_0$ )	0,0073	$\text{m}^3$
Massa jenis minyak ( $\rho_{\text{liquid}}$ )	800	$\text{kg}/\text{m}^3$
Massa minyak ( $m_{\text{liquid}}$ )	5,84	kg
Percepatan gravitasi (g)	9,81	$\text{m}/\text{s}^2$
<i>Gas constant of air</i> (R)	287	J/kg.K
Temperatur	310	K

### 3.3.2 Menghitung kecepatan aliran minyak keluar dari tangki Bio-stove

Kecepatan aliran minyak dihitung menggunakan metode iterasi dengan menggunakan pendekatan rumus bernoulli dan kontinuitas

### 3.3.3 Menghitung perubahan volume minyak di dalam tangki

Dengan didapatnya nilai kecepatan aliran minyak dengan persamaan turunan dari persamaan bernoulli, maka perubahan volume minyak di dalam tangki dapat ditentukan dengan mengurangi volume awal dengan hasil kali antaran kecepatan aliran, luas penampang nosel, dan waktu.

### 3.3.4 Menghitung perubahan tekanan di dalam tangki Bio-stove

Dengan didapatnya nilai kecepatan aliran minyak dengan persamaan turunan dari persamaan bernoulli, maka perubahan tekanan dapat ditentukan dengan membagi tekanan awal dan volume awal dengan volume udara total di dalam tabung.

### 3.4 Model Matematika Bio-stove

Model matematika Bio-stove dibangun dari hasil simulasi yang dilakukan melalui perhitungan berdasarkan persamaan yang diperoleh dari penurunan persamaan bernoulli, persamaan kontinuitas dan persamaan gas ideal menggunakan *software* Ms. Excel.

### 3.5 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam proses pirolisis adalah sebagai berikut:

##### a. *Prototype* Biostove

Biostove dibuat dari 2 buah tabung gas LPG 3 kg berdiameter dalam 254 mm yang di satukan secara vertikal dengan pipa besi dibagian tengah secara konsentris. Satu tabung untuk menyimpan udara dan tabung lainnya sebagai ruang bahan bakar. *Outlet* berupa nosel yang berdiameter 0,2 mm.



Gambar 3.1 Biostove

b. Kompresor

Kompresor digunakan untuk mengisi udara pada Biostove sampai pada tekanan yang dibutuhkan.



Gambar 3.2 Kompresor

c. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk menentukan batas waktu pada saat proses pengujian.



Gambar 3.3 *Stopwatch*

d. *Pressure Gauge*

Pada pengambilan data, *pressure gauge* digunakan untuk mengukur tekanan udara pada tabung Biostove



Gambar 3.5 *Pressure Gauge*

e. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume bahan bakar yang digunakan pada pengujian Biostove



Gambar 3.6 Gelas Ukur

f. *Software* Ms. Excel

Software ini digunakan untuk mensimulasikan model matematika yang dibuat untuk menghitung laju penggunaan bahan bakar dan penurunan tekanan persatuan waktu yang terjadi pada Biostove.



Gambar 3.7 Ms. Excel

### 3.3.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan sebagai bahan bakar untuk pengujian Biostove ini adalah *Kerosene*



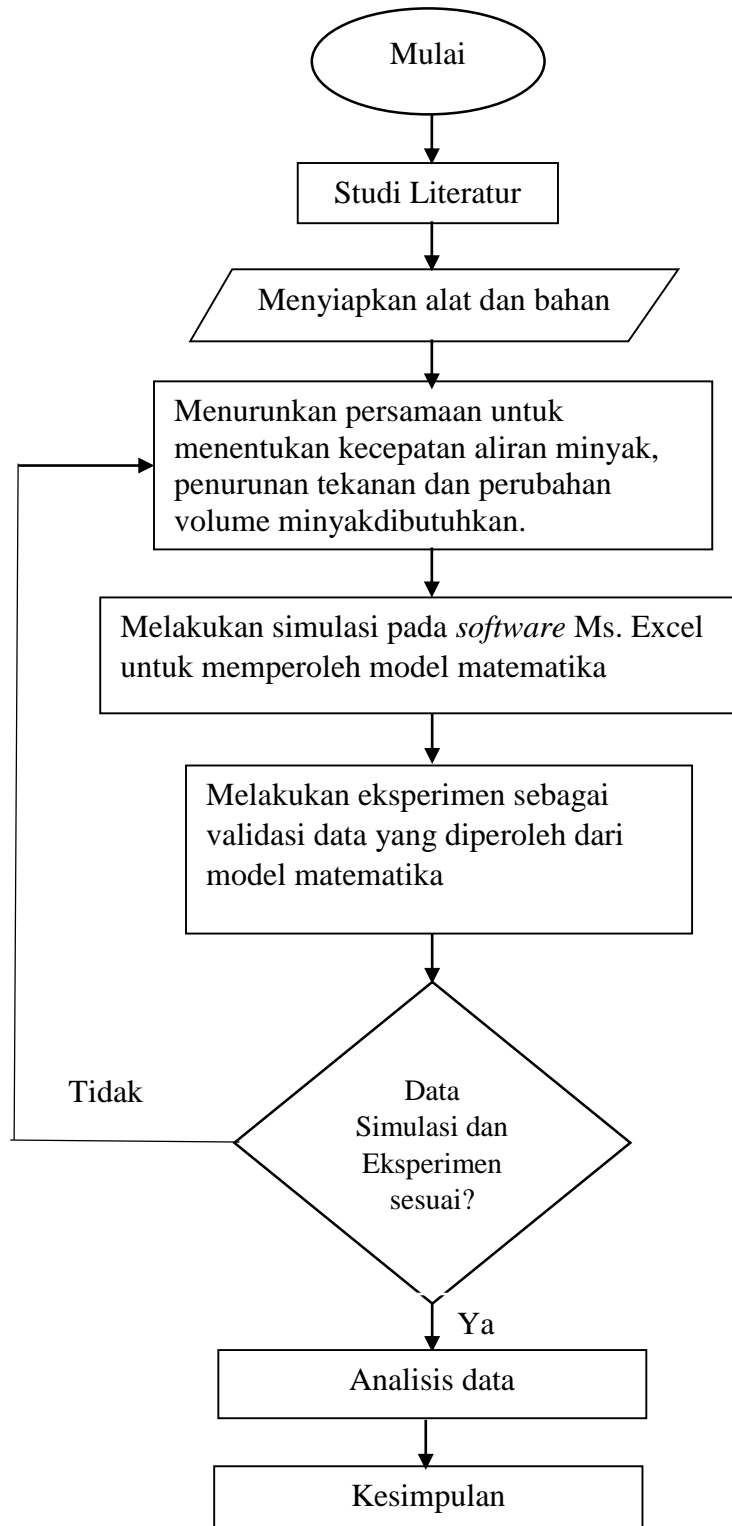
Gambar 3.8 *Kerosene* atau Minyak Tanah

### 3.6 Metode Pengujian

Adapun metode pengambilan data dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan unit *prototype* Biostove
2. Mengukur volume bahan bakar yang digunakan sesuai volume awal yang ditentukan
3. Memeriksa *outlet valve* bahan bakar Biostove dalam kondisi tertutup
4. Mengisi udara pada Biostove dengan menggunakan kompresor hingga tekanan udara dalam Biostove mencapai variasi tekanan yang ditentukan
5. Membuka *outlet valve* bahan bakar dan memulai pencatatan waktu dengan *stopwatch* hingga waktu yang ditentukan
6. Mengukur volume minyak yang keluar dari nosel dengan menggunakan gelas ukur
7. Menutup *outlet valve* bahan bakar saat minyak tidak lagi keluar dari nosel.

### 3.5 Diagram Alir Prosedur Penelitian



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, beberapa kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Semakin besar tekan awal yang diberikan maka kecepatan aliran semakin tinggi yang mengakibatkan laju penurunan tekanan dan volume minyak di dalam tangki lebih cepat.
2. Semakin besar diameter nosel yang digunakan maka laju penurunan tekanan dan volume minyak di dalam tangki lebih cepat.
3. Diperoleh 3 bentuk model matematika, yakni model matematika untuk penurunan tekanan dengan variabel waktu, penurunan volume minyak di dalam tabung dengan variabel waktu, dan penurunan volume minyak di dalam tabung dengan variabel tekanan. Error rata-rata model matematika dengan pengujian yang diperoleh berkisar antara 1,4 – 7,6 %

### 5.2 Saran

Beberapa saran yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk mengkaji simulasi dan model matematika bio-stove dengan kondisi penambahan kalor pada nosel Bio-stove
2. Untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk mengkaji simulasi dan model matematika bio-stove dengan menambahkan rugi-rugi aliran fluida dan menambahkan perhitungan volume minyak yang ada di dalam pipa nosel.



## DAFTAR PUSTAKA

Adam, F. Chew, T.S. Andas, J. 2011. A Simple Template Free Sol-Gel Synthesis of Spherical Nanosilica from Agricultural Biomass. *Journal Sol-Gel Science Technology*. Vol. 59, pp. 580-583.

Alexandra, Le Courtois. 2012. *Municipal Solid Waste: turning a problem into resource. Waste: the challenges facing developing countries. Urban Specialist. World Bank,*

Aziz, A., Hamid, A., dan Hidayat, I., 2014. Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) untuk Separasi 3 Fasa, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Badan Pusat Statistik. 2017. Jumlah kepadatan penduduk di Indonesia. BPS

Bierley, A.W., R.J. Heat and M.J. Scott. 1988. *Plastic Materials Properties and Applications*. Cations. Chapman and Hall Publishing, New York.

Billmeyer, F. W., 1971. *Textbook of Polymer Science*. 2nd ed. New York: WILEY.

Brody. A.L. 1972. *Aseptic Packaging of Foods*. Food Technology. Aug. 70-74.

Bruce R. Munson, D. F. 2009, *Fundamental Of Fluid Mechanics*. United States Of. America

Demirbas, A., et all. 2009. *Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials. Energy Sources, Part A, V. 31, P, 1186–119*

DICLA. 2013. *Biogas. Training Centre. South Africa*

Flin, R.A. dan Trojan, P.K. 1975. *Engineering Materials and Their Applications*.  
Boston: Honh Ton Mifflin Co

Gandidi, Indra M. 2012. *Emission Factor of Single Pellet Cake Seed Jatropha Curcas in a Fix Bed Reactor*. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng

Gandidi, Indra M. 2011, Biodryer untuk Pengerinan Hasil Pertanian dan Perkebunan. Jurnal Mekanikal. Jurusan Mesin. Unila

Harper. 1975. *Handbook of Plastic and Elastomer. Westing House Electric Corporation. Baltimore. Maryland.*

Kementrian ESDM. 2016. Statistik Minyak dan Gas Bumi 2016. Indonesia

Kementrian Keuangan. 2018. Laporan APBN 2018. Indonesia

Klein, Alexander. 2002. *Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes, Thesis, Department of Earth and Environmental Engineering, Fu Foundation School of Engineering and Applied Science. Columbia University*

Mimi, Nurminah. 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas Serta Pengaruhnya terhadap Bahan yang dikemas*. Diakses dari <http://www.ipitek.net.id> pada 21 Januari 2019

Mujiarto, Imam. 2005. *Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif*. Nomor 02, Volume 3, Edisi Desember 2005

Mustofa. 2010. *Analisa Pembuatan Tabung Gas Lpg 3 Kg. urusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Madiun*

Natarajan, E., Ganapathy Sundaram. E. 2009. *Pyrolysis of Rice Husk in a Fixed Bed Reactor*. World Academy of Science. Engineering and Technology

- Ngo, Thanh-An, *et al.* 2012. *Fast pyrolysis of palm kernel cake using a fluidized bed reactor: Design of experiment and characteristics of bio-oil. Journal of Industrial and Engineering Chemistry*
- Olson, R. M. and Wright, S. J. 1990. *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik.* Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Pasek, Ari D, dkk. 2007. *Laporan Akhir Studi Kelayakan Pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Sampah di Kota Bandung.* Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Institut Teknologi Bandung
- Pattiya, Adisak, *et al.* 2012. *Fast pyrolysis of sugarcane and cassava residues in a free-fall reactor. Energy, V. 44, P. 1067-1077*
- Preto, Fernando. 2008. *Pyrolysis, Char and Energy, Canmet ENERGY, Natural Resources Canada, Inaugural Meeting. The Canadian Biochar Initiative.* Ste Anne de Bellevue
- Sacharow, S., and R.C. Griffin. 1978. *Food Packaging.* AVI Publ. Inc., Westport.
- Satrijo, D & Habsya, S.A., 2012. *Perancangan dan Analisa Tegangan pada Bejana Tekan Horizontal dengan Metode Hingga, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.*
- Shafferina, D., *et al.* 2016. *A review on pyrolysis of plastic wastes.* Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia
- Surakhmad, Winarno. 1994. *Pengantar Penelitian Ilmiah , Dasar Metode Teknik.* Jakarta : Utama Grafiti
- Syamsiro, Mochamad. 2011. *Effect of Catalytic Reforming on Pyrolytic Oil Production from Waste Plastics. Departement of Environmental Science and Thecnology, Tokyo Institute of Technology.* Tokyo, Japan
- Syarief, R., Santausa dan Isyana. 1989. *Teknologi Pengemasan Pangan, PAU Pangan dan Gizi.* Bogor: IPB

Valkenburg, C., et al. 2008. *Municipal Solid Waste (MSW) to Liquid Fuels Synthesis, Volume 1: Availability of Feedstock and Technology*. Pacific Northwest National Laboratory Richland. Washington

Verma. M., et all, 2012. *Biofuels Production from Biomass by Thermochemical Conversion Technologies: a Review Article*, *International Journal of Chemical Engineering*, 18 pages

Wannapeera, Janewit, et all. 2011. *Effects of temperature and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. V. 92, P. 99–105

Widowati dan Sutimin. 2007. *Buku Ajar Pemodelan Matematika*. Jurusan Matematika Universitas Diponegoro

Winarno, F. G. dan B. S. L. Jenie. 1983. *Kerusakan Bahan Pangan dan Cara Pencegahannya*. Jakarta: Ghalia Indonesia.

Wiriana, Ir. Adhi, M.Si. 2013. *Penduduk Lampung: Sensus, Proyeksi Dan Registrasi*. BPS Lampung

Zia, Haq. 2002. *Biomass for Electricity Generation*. *Energy Information Administration, Annual Energy Outlook*. Washington DC