

**PENGARUH PENAMBAHAN PLASTIK LDPE TERHADAP HASIL  
GASIFIKASI *UPDRAFT* SAMPAH ORGANIK**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar sarjana teknik



**TOPAN DWI PUTRO  
NIM. 145060201111065**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH PENAMBAHAN PLASTIK LDPE TERHADAP HASIL**  
**GASIFIKASI *UPDRAFT* SAMPAH ORGANIK**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**TOPAN DWI PUTRO**

**NIM. 145060201111065**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 17 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

**Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.**  
NIP. 19740121 199903 1 001

Dosen Pembimbing II

**Redi Bintarto, ST., M.Eng Pract**  
NIP. 201607 811024 1 001



Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
NIP. 19740930 200012 1 001

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur penjiplakan, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU no.20 tahun 2003 pasal 25 ayat (2) dan pasal 70).

Malang, 19 Juli 2018

Mahasiswa,

Topan Dwi Putro  
NIM. 145060201111065

JUDUL SKRIPSI :

PENGARUH PENAMBAHAN PLASTIK LDPE TERHADAP HASIL GASIFIKASI  
*UPDRAFT* SAMPAH ORGANIK

Nama Mahasiswa : Topan Dwi Putro  
NIM : 145060201111065  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat (bila ada) : Teknik Konversi Energi

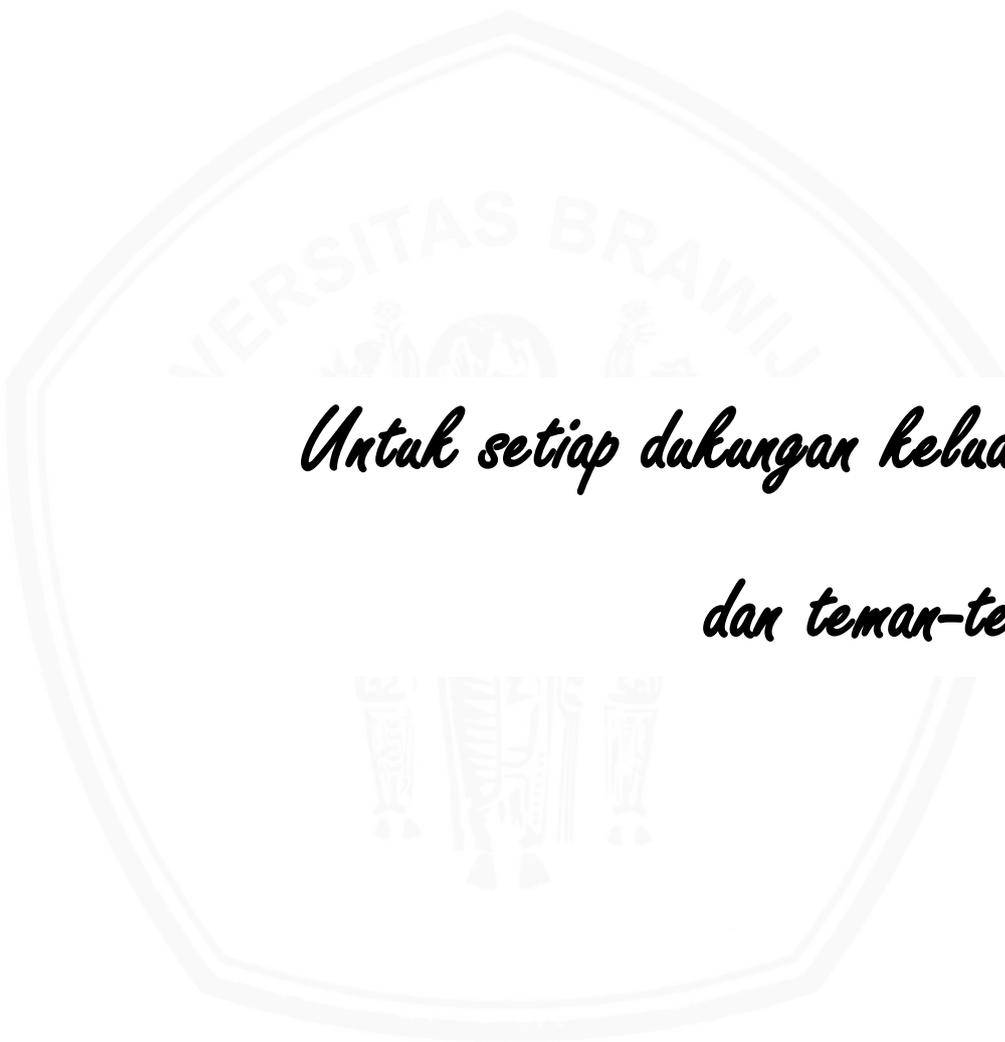
**KOMISI PEMBIMBING**

Pembimbing I : Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.  
Pembimbing II : Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji I : Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.  
Dosen Penguji II : Dr.Eng. Lilis Yuliaty, ST., MT.  
Dosen Penguji III : Fransisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

Tanggal Ujian : 12 Juli 2018  
SK Penguji : 1432/UN10.F07/SK/2018



*Untuk setiap dukungan keluarga  
dan teman-teman*

## PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Plastik LDPE Terhadap Hasil Gasifikasi *Updraft* Sampah Organik.”**

Selama pengerjaan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Dalam hal ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orangtua penulis (Bapak Dwi Rantjang Wirawan dan Ibu Ida Nuraida) yang selalu mendoakan, memberi motivasi dan berbagai dukungan yang sangat penting bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini
2. Mas Guntur yang selalu memberi saran dan pandangan mengenai apa yang harus penulis lakukan untuk menyelesaikan masalah
3. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. dan Bapak Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penulisan skripsi
4. Asisten dan Laboran Lab. Motor Bakar dan Pengecoran Logam yang telah memfasilitasi dalam hal penelitian.
5. Tim *Bhinneka Tunggal Ika*; Parvez dan Davin yang sudah saling membantu dari awal hingga akhir penulisan skripsi.
6. Semua teman-teman yang meneliti di Lab. Mekar yang sudah membantu memberi masukan dan saling *sharing* ilmu selama pengambilan data.
7. Amir, Oldy, Bedul, Akbar, Nandika, Wildan, Amal, Sela, Cahya, Tio, Mas Anang dan keluarga besar Laboratorium Komputer yang selalu menjadi tempat berbagi cerita
8. Teman-teman seperjuangan Tim KRTI, Tim BCC, Tim Aero Indoor, Tim Komurindo, Spesialis Elektrik, Member Aerokreasi dan Lab Riset yang memberi pengalaman hebat tentang kerja keras, *teamwork* dan pengalaman lainnya
9. Kingdom [KGDM] atas momen bareng & rapat konsep semester nya
10. Keluarga MAF14 [2014 mdpl] atas kebersamaan yang bikin betah di Malang
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis tulis satu persatu atas bantuan dan dukungan apapun

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat menyempurnakannya. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi setiap orang dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Malang, Juni 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Plastik LDPE.....	8
2.3 Gasifikasi.....	8
2.3.1 Definisi Gasifikasi.....	8
2.3.2 Media Gasifikasi.....	9
2.3.3 Jenis Tungku Gasifikasi.....	10
2.3.4 Proses pada Gasifikasi.....	12
2.3.5 Faktor yang Mempengaruhi Gasifikasi.....	14
2.4 Syngas.....	15
2.5 Sampah Organik.....	15
2.6 Hipotesa.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	17
3.1 Metode Penelitian.....	17

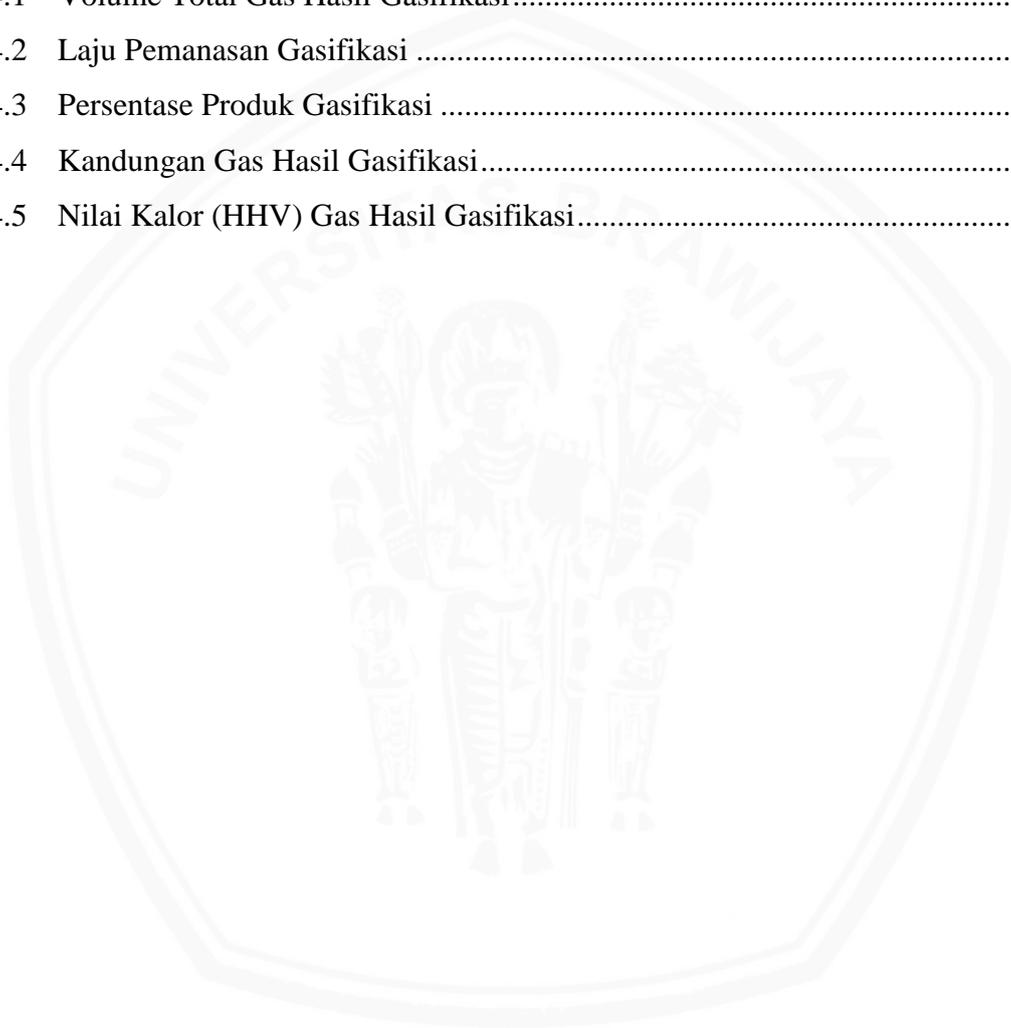
3.2	Variabel Penelitian.....	17
3.3	Alat dan Bahan Penelitian .....	17
3.3.1	Alat Penelitian .....	17
3.3.2	Bahan Penelitian.....	21
3.4	Prosedur Penelitian .....	21
3.4.1	Prosedur Persiapan Spesimen.....	21
3.4.2	Prosedur Gasifikasi .....	21
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>25</b>
4.1	Pengolahan Data .....	25
4.2	Pembahasan dan Analisa Data.....	27
4.2.1	Analisa Hubungan Temperatur Pemanasan Terhadap Waktu Gasifikasi ..	27
4.2.2	Analisa Volume Total Gas Hasil Gasifikasi .....	27
4.2.3	Analisa Char, Tar dan Gas Hasil Gasifikasi.....	28
4.2.4	Analisa Kandungan Gas Hasil Gasifikasi .....	29
4.2.5	Analisa Nilai Kalor (HHV) Gas Hasil Gasifikasi .....	31
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>33</b>
4.1	Kesimpulan.....	33
4.2	Saran.....	33
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
<i>Gambar 2.1</i>	Komposisi Syngas Gasifikasi <i>Fluidized Bed</i> LDPE .....	5
<i>Gambar 2.2</i>	Pengaruh Temperatur Terhadap Komposisi Syngas Gasifikasi <i>Fluidized Bed</i> Sampah Rumah Tangga .....	6
<i>Gambar 2.3</i>	Efek variasi PE dalam biomassa terhadap konsentrasi metana .....	7
<i>Gambar 2.4</i>	Struktur plastik LDPE.....	8
<i>Gambar 2.5</i>	Diagram C-H-O dari Proses Gasifikasi.....	9
<i>Gambar 2.6</i>	Gasifikasi <i>Updraft</i> .....	10
<i>Gambar 2.7</i>	Gasifikasi <i>Downdraft</i> .....	11
<i>Gambar 2.8</i>	Gasifikasi <i>Crossdraft</i> .....	11
<i>Gambar 2.9</i>	Proses pada gasifikasi .....	13
<i>Gambar 2.10</i>	Proses pada gasifikasi <i>updraft</i> .....	14
<i>Gambar 3.1</i>	Instalasi Gasifikasi .....	18
<i>Gambar 3.2</i>	Diagram Alir Penelitian .....	23
<i>Gambar 4,1</i>	Hubungan temperatur pemanasan terhadap waktu gasifikasi .....	27
<i>Gambar 4,2</i>	Volume Total Gas Hasil Gasifikasi .....	28
<i>Gambar 4,3</i>	Char, tar dan gas hasil gasifikasi.....	29
<i>Gambar 4,4</i>	Kandungan Gas Hasil Gasifikasi .....	30
<i>Gambar 4,5</i>	Nilai Kalor (HHV) Gas Hasil Gasifikasi .....	31

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Distribusi Produk Hasil Gasifikasi <i>Fluidized Bed</i> LDPE.....	5
Tabel 2.2	Komposisi Produk Gas Gasifikasi <i>Fluidized Bed</i> Sampah Rumah Tangga.....	6
Tabel 2.3	Sifat Termal LDPE.....	8
Tabel 2.4	Perbedaan Karakteristik Gasifikasi <i>Updraft</i> , <i>Downdraft</i> dan <i>Crossdraft</i> .....	12
Tabel 4.1	Volume Total Gas Hasil Gasifikasi.....	25
Tabel 4.2	Laju Pemanasan Gasifikasi .....	26
Tabel 4.3	Persentase Produk Gasifikasi .....	29
Tabel 4.4	Kandungan Gas Hasil Gasifikasi.....	30
Tabel 4.5	Nilai Kalor (HHV) Gas Hasil Gasifikasi.....	31



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Dokumentasi Pengambilan Data
Lampiran 2.	Dokumentasi Produk Hasil Gasifikasi
Lampiran 3.	Dokumentasi Pengujian Kandungan Gas
Lampiran 4.	Data <i>Gas Chromatography</i>
Lampiran 5.	Data Temperatur Pemanasan



## RINGKASAN

**Topan Dwi Putro**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Penambahan Plastik LDPE Terhadap Hasil Gasifikasi Updraft Sampah Organik*, Dosen Pembimbing : Nurkholis Hamidi dan Redi Bintarto.

Perilaku masyarakat Indonesia cenderung membuang sampah tanpa memisahnya terlebih dahulu berdasarkan kategori sampah. Sehingga seluruh sampah dari berbagai kategori berkumpul pada satu tempat (seperti sampah plastik dan sampah organik) sehingga akhirnya menyebabkan sulitnya mengelola sampah, karena tidak semua sampah dapat diolah dengan cara yang sama dan butuh waktu, tenaga dan biaya lebih untuk memisahkan kembali sampah-sampah tersebut berdasarkan kategorinya masing-masing. Sampah organik dan sampah plastik dapat diolah menjadi gas yang lebih bermanfaat dengan metode gasifikasi. Namun pada umumnya, gasifikasi menggunakan 1 jenis bahan saja. Dengan pencampuran sampah organik dan plastik untuk digasifikasi, diharapkan hasil gas dapat dipakai atau bahkan meningkatkan kualitas gas dan akan menghemat pengeluaran dalam pemisahan sampah sebelum diolah. Penelitian ini menggunakan variasi campuran sampah organik 100% - LDPE 0%, sampah organik 95% - LDPE 5%, sampah organik 90% - LDPE 10% dan sampah organik 85% - LDPE 15%. Hasil penelitian ini adalah penambahan plastik LDPE pada gasifikasi sampah organik akan meningkatkan laju pemanasan, volume total gas, kandungan H<sub>2</sub> pada produk gas dan nilai HHV gas dalam satuan MJ/m<sup>3</sup>, selain itu penambahan plastik LDPE pada gasifikasi sampah organik juga akan menurunkan persentase char dan tar yang dihasilkan

Kata kunci : Sampah Organik, Plastik, LDPE, *Syngas*, Gasifikasi

## SUMMARY

**Topan Dwi Putro**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018. *The Effect of LDPE Plastics Content Level to The Gasification Products of Organic Waste*. Academic Supervisor : Nurkholis Hamidi and Redi Bintarto.

*The behavior of Indonesian people tend to dispose of waste without separating it first by category of waste. So that all the waste from various categories gathered in one place (such as plastic waste and organic waste) that ultimately lead to the difficulty of managing waste, because not all waste can be processed in the same way and it takes time, energy and more costs to separate the waste based on their respective categories. Organic waste and plastic waste can be processed into more useful gases by gasification method. But in general, gasification using 1 type of material only. By mixing organic and plastic waste for gasification, it is expected that gas product can be used or even improve the quality of gas product and save the expenditure in waste segregation process. This research used mixed organic waste 100% - LDPE 0%, organic waste 95% - LDPE 5%, organic waste 90% - LDPE 10% and 85% organic waste - LDPE 15%. The result of this research is the addition of LDPE plastic in organic waste gasification will increase the heating rate, total gas volume,  $H_2$  content in gas product and HHV of gas in  $MJ/m^3$  unit, besides the addition of LDPE plastic in organic waste gasification will also decrease the percentage of char and tar generated*

*Keyword : Organic Waste, Plastic, LDPE, Syngas, Gasification*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Persoalan sampah di Indonesia sampai saat ini masih belum sepenuhnya terselesaikan. Salah satunya adalah perilaku masyarakat yang kurang mandiri untuk memisahkan sampah berdasarkan kategorinya. Keadaan ini berimbas kepada kondisi di TPA, yaitu sampah organik dan anorganik sudah bercampur menjadi satu dan butuh waktu yang cukup lama untuk memisahkannya kembali berdasarkan kategori masing-masing. Meskipun masih ada pemulung yang akan mengambil sampah plastik, namun yang diambil pemulung mayoritas hanyalah sampah plastik botol, gelas, sterofoam, dll. Sedangkan untuk sampah kresek (salah satu plastik yang terbuat dari bahan LDPE) akan tetap dibiarkan bercampur dengan sampah organik.

Persoalan lain mengenai sampah di Indonesia adalah tingkat konsumsi masyarakat yang cenderung meningkat setiap tahunnya mengakibatkan peningkatan produksi sampah. Hal ini tidak diiringi dengan peningkatan sistem pengelolaan sampah, sehingga yang terjadi saat ini adalah produksi sampah yang jauh melebihi kapasitas pengelolaan sampah.

Berdasarkan data yang di ambil dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Dari tahun 2015, volume sampah di Indonesia sekita 64,5 juta ton dan diperkirakan sampai tahun 2019 volume sampah di Indonesia akan mencapai 67,1 juta ton. Sampah organik menjadi sampah yang paling banyak, yaitu sekitar 60%. Sampah plastik ada di nomor dua, sekitar 14% dan sisanya adalah sampah-sampah lain seperti logam, karet, kain, kaca dan lain sebagainya. Untuk metode pengelolaan yang digunakan, metode penimbunan di TPA merupakan yang terbanyak, yaitu sekitar 60%, kemudian metode penguburan sekitar 10%, metode daur ulang dan kompos sekitar 7,5%, metode pembakaran 5%, dan metode lainnya atau tidak dikelola sekitar 8,5%. Jika dilihat dari data, paradigma pengelolaan sampah mayoritas masih berkuat di 3R (*reduce, reuse dan recycle*). Ada paradigma baru yang sudah dilakukan oleh beberapa negara maju, yaitu konversi sampah menjadi energi, salah satunya metode gasifikasi.

Gasifikasi adalah proses konversi energi dari bahan baku (baik padat maupun cair) yang mengandung karbon ke dalam bentuk gas. Gasifikasi bertujuan untuk meningkatkan kualitas bahan bakar dan juga memanfaatkan suatu bahan baku yang tidak dapat dipakai agar dapat dipakai dalam bentuk gas. Saat ini, bahan baku gasifikasi sudah cukup bervariasi, di

antaranya adalah batubara dan biomasa. Sesuai dengan salah satu tujuan gasifikasi, yaitu memanfaatkan sesuatu yang tidak terpakai, sampah juga ternyata dapat digunakan sebagai bahan baku gasifikasi.

Metode konversi sampah menjadi energi seperti metode gasifikasi sampah di Indonesia belum banyak digunakan. Gasifikasi sampah bertujuan untuk mengubah sampah-sampah menjadi energi (berbentuk gas) yang dapat digunakan sebagai sumber energi di berbagai tempat. Jika metode gasifikasi sampah ini dapat dikembangkan di Indonesia, maka bukan hanya jumlah sampah saja yang dapat dikurangi, tetapi juga akan ada cara baru untuk membangkitkan energi. Penelitian mengenai gasifikasi sampah sudah cukup banyak, namun, penelitian-penelitian ini mayoritas berfokus pada salah satu jenis sampah, yaitu sampah organik saja atau sampah plastik saja.

Dengan kondisi sampah di Indonesia yang sudah diuraikan di atas, baik mengenai sampah yang bercampur maupun pengelolaan sampah yang belum maksimal. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk mengetahui kandungan plastik LDPE pada gasifikasi sampah organik, sehingga jika hasil penelitian ini cenderung ke arah positif, ke depannya baik sampah organik maupun sampah plastik, khususnya plastik LDPE dapat dimanfaatkan sebaik mungkin sebagai sumber energi terbarukan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penambahan plastik LDPE terhadap hasil gasifikasi *updraft* sampah organik?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Sampah organik yang digunakan diambil dari TPST Dau, Malang
2. Metode gasifikasi menggunakan gasifikasi *updraft*
3. Data yang diambil dalam penelitian ini berupa laju kenaikan temperatur selama gasifikasi, volume total gas, kandungan gas hasil gasifikasi dan nilai kalor gas
4. Sampel gas diambil pada temperatur 700 °C
5. Kandungan gas yang diteliti hanya H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan plastik LDPE terhadap hasil gasifikasi *updraft* sampah organik.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan data penelitian yang nantinya dapat dibandingkan dengan proses-proses gasifikasi lainnya.
2. Untuk menjadi rujukan atau referensi dalam penelitian selanjutnya agar perkembangan teknologi gasifikasi di Indonesia semakin maju
3. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang pemanfaatan sampah agar dapat dimanfaatkan menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki banyak keuntungan





## BAB II DASAR TEORI

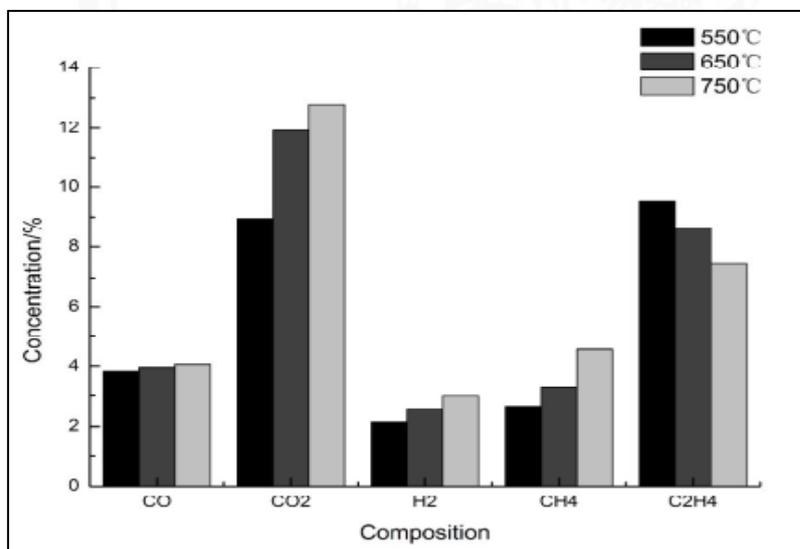
### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Zheng Jiao dan Chi Yong pada tahun 2009 melakukan penelitian mengenai karakteristik gasifikasi LDPE menggunakan gasifikasi *fluidized bed*. Temperatur pada penelitian diatur pada kisaran 550 °C – 750 °C. Hasil yang didapat adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1  
Distribusi Produk Hasil Gasifikasi *Fluidized Bed* LDPE

Temperatur (°C)	Distribusi massa (%)			Distribusi energi (%)		
	Syngas	Tar	Char	Syngas	Tar	Char
550	73.75	0.86	1.12	79.93	1.31	3.26
650	88.70	1.09	0.53	81.03	1.67	1.50
750	93.30	1.04	0.32	80.7	1.61	0.86

Sumber : Zheng (2009)



Gambar 2.1 Komposisi Syngas Gasifikasi *Fluidized Bed* LDPE  
Sumber : Zheng (2009)

Jika dilihat dari data pada Tabel 2.1, syngas adalah produk utama dengan rata-rata massa sekitar 90% dan energi sekitar 80%. Distribusi massa syngas yang tertinggi adalah pada temperatur 750 °C dengan massa tar dan char yang lebih rendah dari temperatur 650 °C. Namun untuk distribusi energi, gasifikasi pada temperatur 650 °C adalah yang tertinggi

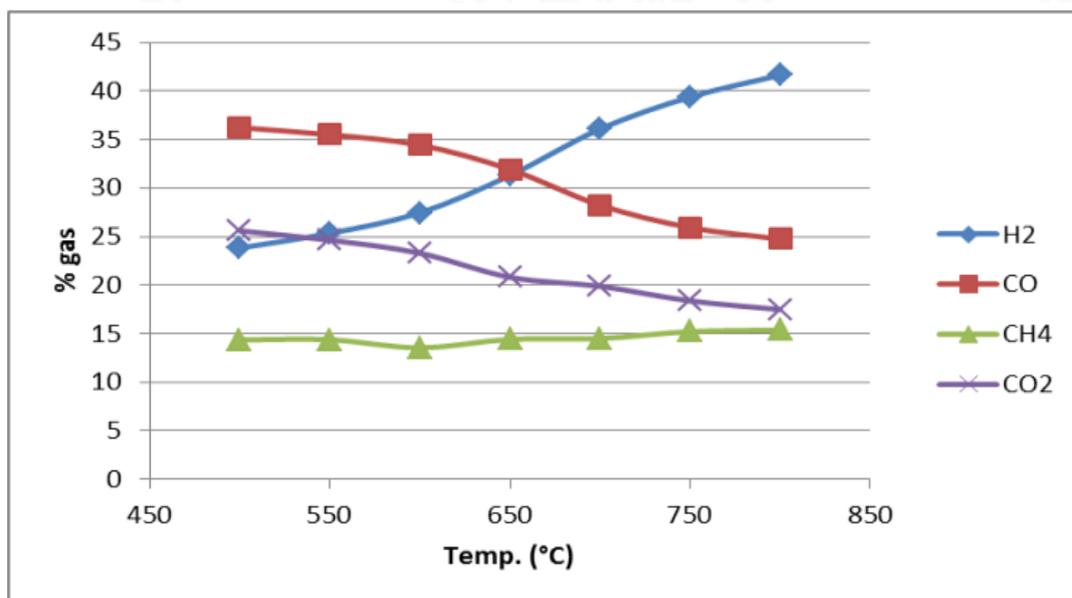
dengan persentase syngas sekitar 81.03%. Selain itu, pada *Gambar 2.1* terdapat grafik komposisi – konsentrasi pada *syngas*. Konsentrasi CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> cenderung meningkat seiring kenaikan temperatur. Sedangkan, konsentrasi C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> cenderung menurun seiring kenaikan temperatur.

Sunil Yadav pada tahun 2013 meneliti tentang energi yang dihasilkan dari sampah rumah tangga menggunakan gasifikasi *fluidized bed*. Temperatur gasifikasi diatur sekitar 500 - 800 °C. Hasil yang didapat adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2  
Komposisi Produk Gas Gasifikasi *Fluidized Bed* Sampah Rumah Tangga

Temperatur (°C)	H <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)
500	22.83	13.37	25.49	36.23
550	25.35	13.17	24.63	35.36
600	27.45	12.95	23.29	34.43
650	31.30	13.42	20.81	31.29
700	36.09	13.50	19.88	28.23
750	39.38	14.21	18.38	25.93
800	41.64	14.37	17.38	24.75

Sumber : Yadav (2013)



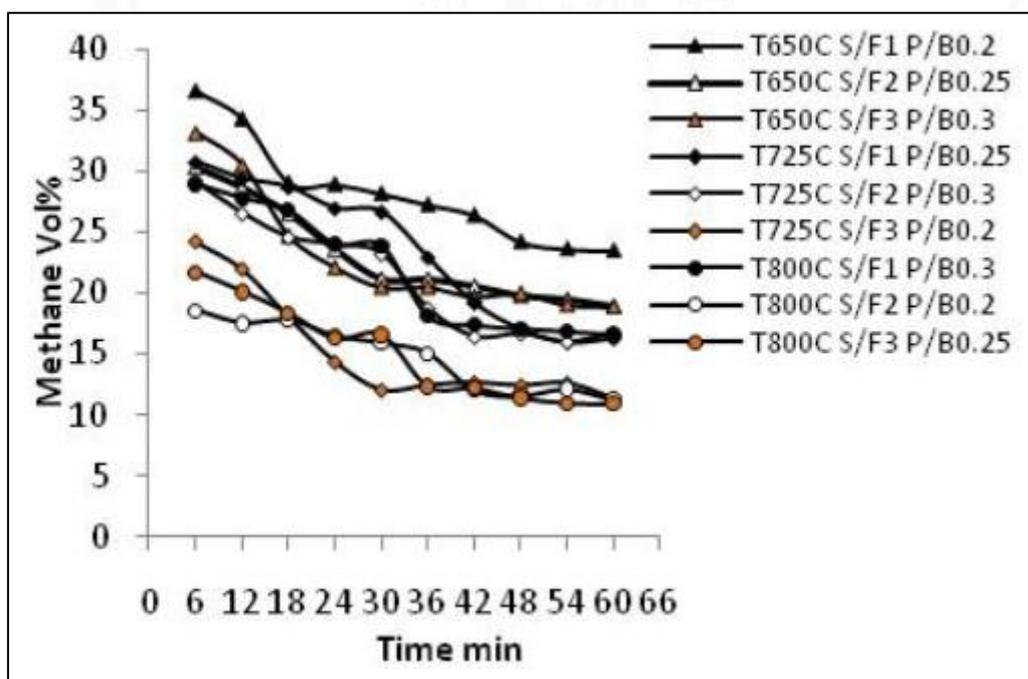
*Gambar 2.2* Pengaruh Temperatur Terhadap Komposisi Syngas Gasifikasi *Fluidized Bed* Sampah Rumah Tangga

Sumber : Yadav (2013)

Berdasarkan data dari Tabel 2.2 dan Gambar 2.2, konsentrasi hidrogen meningkat seiring kenaikan temperatur, sedangkan konsentrasi karbon monoksida dan karbon dioksida. Selain itu, konsentrasi metana cenderung konstan, namun memiliki konsentrasi yang paling rendah.

Moghadam, et al (2013) meneliti tentang produksi hidrogen dari campuran sampah biomassa dan PE dengan metode *fluidized bed catalytic steam co-gasification*. Spesimen yang dipakai adalah bahan baku biomassa yang didapat dari pabrik kelapa sawit, sampah PE (HDPE) dan katalis Ni.

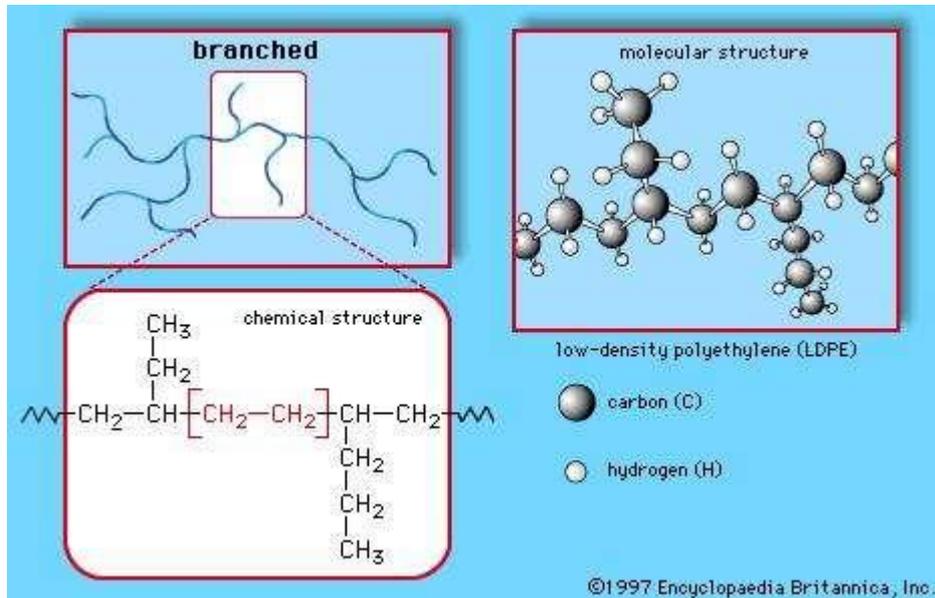
Untuk meningkatkan komposisi H<sub>2</sub> pada proses gasifikasi, biomassa dicampurkan dengan PE dengan persentase PE mencapai 30%. Pencampuran PE dengan biomassa akan meningkatkan komposisi hidrokarbon. Rantai polimer akan terdekomposisi menjadi molekul-molekul kecil, seperti CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> dan hidrokarbon berat. Penambahan PE menyebabkan terjadinya dua proses, yaitu pertama, PE dan biomassa terdekomposisi termal menghasilkan hidrokarbon berat dan ringan, *char* dan volatil. Kedua, yaitu reaksi yang menghasilkan hidrokarbon dan *char* dengan volatil dan uap pada temperatur tinggi (sekitar 650 °C – 1000 °C) oleh karena itu, tujuan pencampuran PE dengan biomassa adalah untuk meningkatkan produksi hidrokarbon ringan, untuk mempercepat reaksi *steam methane reforming* dan untuk meningkatkan efisiensi gasifikasi berdasarkan persentase H<sub>2</sub>.



Gambar 2.3 Efek variasi PE dalam biomassa terhadap konsentrasi metana  
Sumber : Moghadam (2013)

## 2.2 Plastik LDPE

Plastik LDPE adalah polimer yang dibentuk dari pemanasan etilen pada tekanan tinggi (di atas 3.000 bar) dan pada temperatur 100 – 300 °C. LDPE memiliki titik lebur 110 – 125 °C dan pada temperatur 300 °C, LDPE akan terurai menjadi molekul hidrokarbon.



Gambar 2.4 Struktur plastik LDPE

Sumber : Encyclopaedia Britannica (1997)

Tabel 2.3  
Sifat Termal LDPE

Material	Densitas ( $\text{kg/m}^3$ )	Temperatur Kerja Tertinggi (°C)	Melting Point (°C)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
LDPE	$0,92 \times 10^3$	90	120	0,33

Sumber : Subtech (2013)

## 2.3 Gasifikasi

### 2.3.1 Definisi Gasifikasi

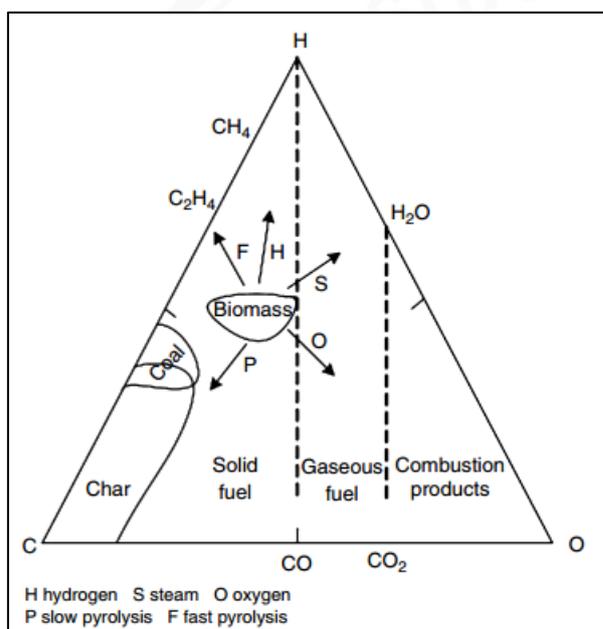
Gasifikasi adalah proses kimia yang mengkonversi material atau bahan baku yang mengandung karbon, seperti biomassa menjadi bahan bakar gas atau bahan kimia yang lebih bermanfaat. Gasifikasi berbeda dengan pembakaran. Walaupun pembakaran juga mengkonversi bahan baku yang mengandung karbon menjadi gas, namun gas yang dihasilkan dari pembakaran tidak memiliki nilai kalor yang bermanfaat, sedangkan gas hasil gasifikasi memiliki nilai kalor yang bermanfaat. Gasifikasi mengumpulkan energi dalam ikatan kimia, sedangkan pembakaran melepaskan energi tersebut. Selain itu, gasifikasi juga

terjadi di lingkungan dengan udara yang terbatas, sedangkan pembakaran terjadi di lingkungan yang cukup udara (Basu, 2010).

### 2.3.2 Media Gasifikasi

Media gasifikasi atau lebih sering disebut *gasifying medium* akan bereaksi dengan karbon padat dan hidrokarbon yang lebih berat untuk dikonversi menjadi gas dengan berat molekul yang ringan seperti CO dan H<sub>2</sub>. Media gasifikasi yang pada umumnya digunakan adalah oksigen, uap dan udara.

Nilai kalor dan komposisi produk gas yang dihasilkan juga tergantung pada media gasifikasi yang dipakai. Diagram terner dari karbon – hidrogen – oksigen memperlihatkan arah konversi pembentukan produk gas yang berbeda dalam *gasifier*.



Gambar 2.5 Diagram C-H-O dari proses gasifikasi  
Sumber : Basu (2010)

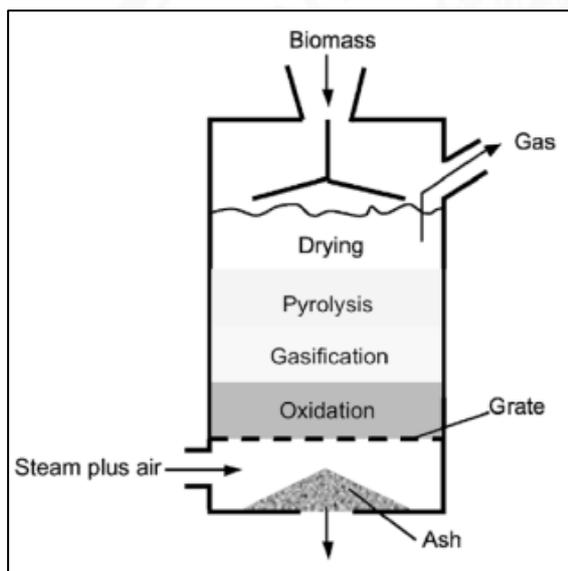
Jika menggunakan oksigen sebagai media gasifikasi, arah konversi akan menuju sudut oksigen. Produk gas yang akan dihasilkan akan mengurangi kandungan hidrogen dan lebih banyak mengandung ikatan karbon seperti CO dan CO<sub>2</sub>. Jika menggunakan uap air, arah konversi akan menuju ke sudut hidrogen. Produk gas akan lebih banyak mengandung hidrogen menyebabkan rasio H/C yang lebih tinggi. Jika menggunakan udara, nitrogen pada udara akan mengurangi kualitas produk gas.

### 2.3.3 Jenis Tungku Gasifikasi

#### A. Gasifikasi *Updraft*

Gasifikasi *updraft* atau dikenal juga dengan gasifikasi *counter-flow*, dimana bahan baku bergerak berlawanan arah dengan media gasifikasi dan gas produk. Reaksi oksidasi terjadi di titik terbawah *gasifier*. Aliran produk gas akan naik ke atas dan memanaskan bahan baku yang masuk. Karena konfigurasinya ini, bahan baku akan mengalami kontak dengan produk gas pada temperatur yang lebih rendah. Sebagian bahan baku yang mengalami pirolisis (tar) akan keluar bersama produk gas.

Keuntungan gasifikasi *updraft* adalah proses yang mudah dan murah, dapat menggunakan bahan baku (biomassa) dengan kadar air yang tinggi. Kerugian untuk gasifikasi *updraft* adalah rendahnya temperatur produk gas menyebabkan tingginya tingkat tar, sehingga membutuhkan proses lebih lanjut untuk membersihkan gas dari tar atau mengubah tar menjadi gas.

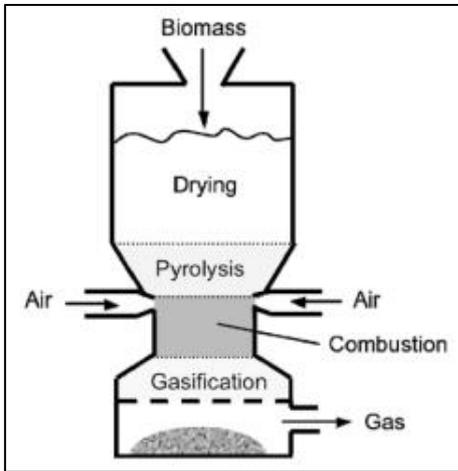


Gambar 2.6 Gasifikasi *updraft*  
Sumber : Basu (2010)

#### B. Gasifikasi *Downdraft*

Gasifikasi *downdraft* atau dikenal juga dengan gasifikasi *co-flow*. Udara masuk melalui samping adanya *throat* atau bagian yang menyempit berguna untuk menghasilkan efek pencampuran antara bahan baku dengan udara. Karena produk gas harus melewati zona pembakaran (oksidasi dan reduksi), maka tar akan terurai (*cracked*). Hal ini menyebabkan konsentrasi tar pada produk gas hasil gasifikasi *downdraft* cenderung lebih rendah.

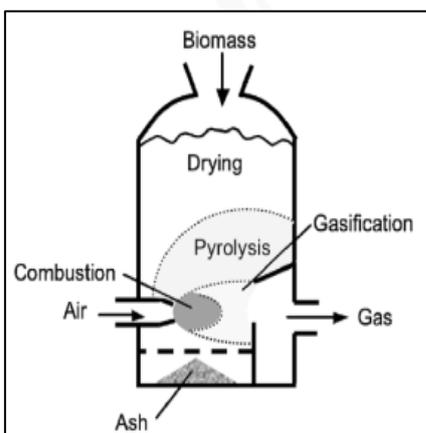
Keuntungan gasifikasi *downdraft* adalah konsentrasi tar yang rendah. Kekurangan gasifikasi *downdraft* adalah efisiensinya yang lebih rendah dan konstruksinya yang sedikit lebih rumit dari gasifikasi *updraft*.



Gambar 2.7 Gasifikasi *downdraft*  
Sumber : Basu (2010)

### C. Gasifikasi *Crossdraft*

Pada gasifikasi *crossdraft*, bahan baku dimasukkan dari atas dan udara diinjeksikan melalui katup yang ada di samping *gasifier*. Berbeda dengan gasifikasi *updraft* dan *downdraft*, produk gas dari gasifikasi *crossdraft* akan keluar dari samping (bersebrangan dengan katup masuk udara). Gasifikasi *crossdraft* bisa menggunakan bahan baku dengan kadar air yang tinggi jika bagian atasnya *gasifier*-nya dibuka untuk celah keluar uap dan gasifikasi *crossdraft* ini kurang cocok untuk bahan baku dengan tingkat abu dan tar yang tinggi.



Gambar 2.8 Gasifikasi *crossdraft*  
Sumber : Basu (2010)

Tabel 2.4 Perbedaan Karakteristik Gasifikasi *Updraft*, *Downdraft* dan *Crossdraft*

Karakteristik	<i>Updraft</i>	<i>Downdraft</i>	<i>Crossdraft</i>
Temperatur gas keluar (°C)	200 – 400	700	1250
Tar (g/Nm <sup>3</sup> )	30 – 150	0.015 – 3.0	0.01 – 0.1
Efisiensi gas panas (%)	90 – 95	85 – 90	75 – 90

Sumber : Basu (2010)

### 2.3.4 Proses Pada Gasifikasi

Gasifikasi merupakan proses dekomposisi zat dengan temperatur tinggi yang digunakan untuk mendapatkan energi dari hidrokarbon dimana menggunakan proses pembakaran dengan udara terbatas. Selama proses gasifikasi molekul molekul hidrokarbon yang memiliki rantai panjang yang rumit dipecah menjadi molekul yang lebih kecil dan sederhana dalam bentuk gas. Sisa dari proses gasifikasi berupa *char* dan *tar*. *Char* merupakan sisa dari bahan baku gasifikasi yang tidak berubah menjadi gas, sementara *tar* merupakan hasil kondensasi dari gas yang keluar dari *gasifier*. Gas yang keluar dari reaktor gasifikasi masih mengandung air oleh karena itu perlu adanya kondensasi agar gas yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Gas gas yang tidak dapat dikondensasi terdiri dari CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>.

#### A. Pengerinan

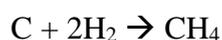
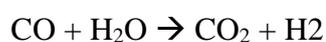
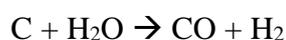
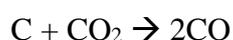
Pengerinan bertujuan untuk mengurangi kadar air pada bahan baku. Proses ini berlangsung pada temperatur 100 °C – 300 °C di dalam *gasifier*. Semakin tinggi temperatur, maka proses pengerinan akan semakin cepat.

#### B. Pirolisis

Pirolisis adalah proses pembakaran yang tidak melibatkan oksigen. Pada proses ini bahan baku terdekomposisi dan terpisah-pisah menjadi padatan (arang), cairan (tar) dan gas (gas buang). Secara umum pada proses pirolisis reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut : Bahan baku → *char* + *tar* + Gas (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>)

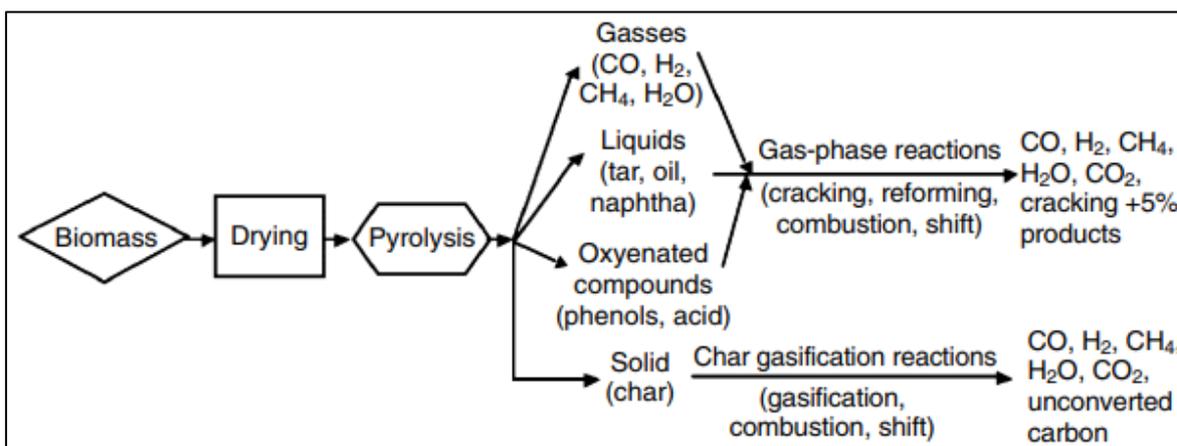
#### C. Reduksi

Pada temperatur yang lebih tinggi dan saat kondisi pengurangan, saat-saat ini adalah dimana terdapat cukup oksigen. Reaksi yang terjadi akan membentuk karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>) dan metana (CH<sub>4</sub>).



#### D. Oksidasi

Setelah proses dekomposisi, udara masuk ke *gasifier*. Selama proses oksidasi (sekitar 700 – 1400 °C), arang atau bahan bakar padat bereaksi dengan oksigen di udara dan menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan kalor.



Gambar 2.9 Proses pada gasifikasi  
Sumber : Basu (2010)

- Proses pada Gasifikasi *Updraft*

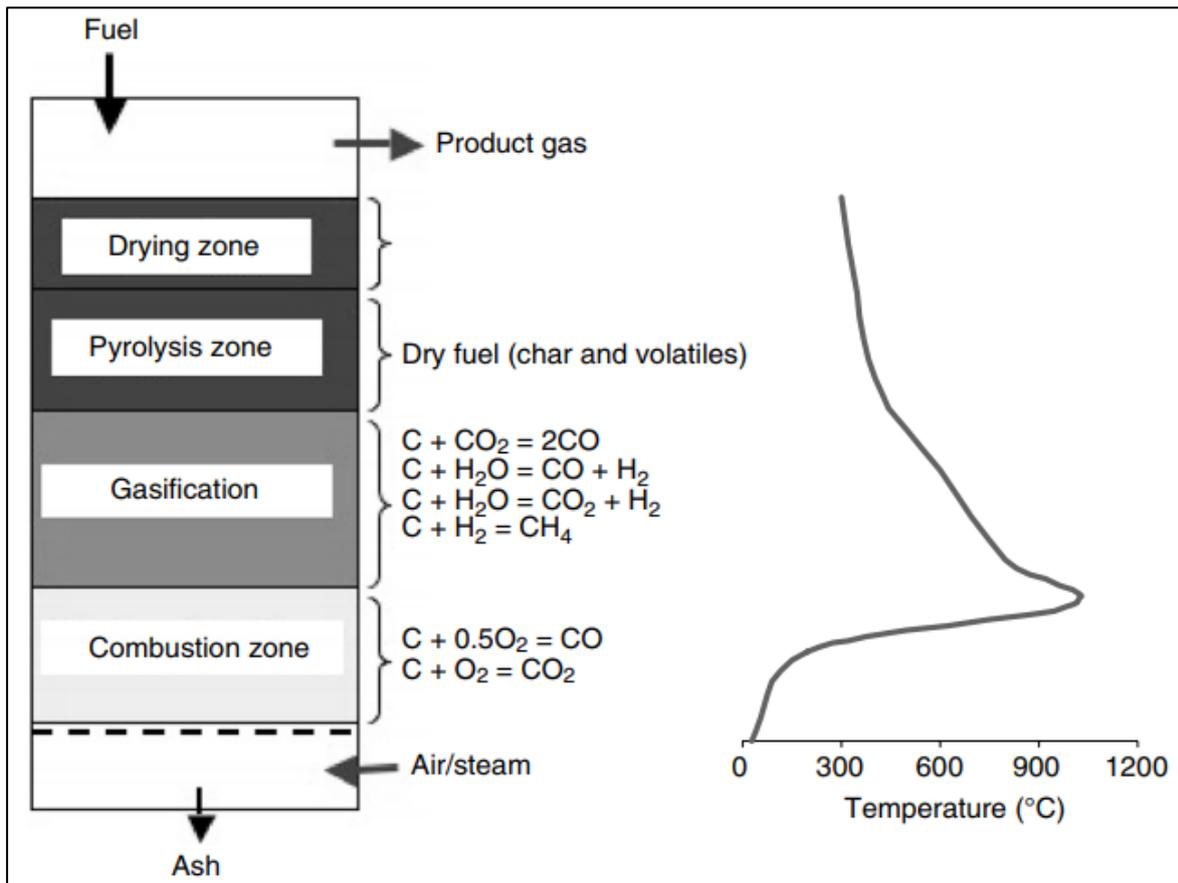
Dalam tungku gasifikasi *updraft*, bahan baku dimasukkan dari bagian atas tungku dan produk gas keluar melalui saluran di bagian atas. Medium gasifikasi seperti udara, oksigen atau *steam* masuk melalui celah di bagian bawah dan mengalir ke atas. Tahap pertama gasifikasi adalah terjadinya proses pengeringan pada spesimen akibat pemanasan. Seiring kenaikan temperatur, akan terjadi proses pembakaran eksotermis.



Reaksi ini terjadi sangat cepat, sehingga menguras oksigen yang ada. Oksigen yang menipis mengakibatkan reaksi pembakaran berubah menjadi pembakaran parsial yang menghasilkan gas CO dan panas.



Setelah seluruh oksigen habis, proses pirolisis terjadi. Pada proses pirolisis, spesimen akan terdekomposisi menjadi bentuk padat, cair dan gas. Lalu terjadi proses gasifikasi yang akan menghasilkan berbagai senyawa gas seperti CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>. Reaksi pada proses gasifikasi dapat dilihat pada *Gambar 2.10*. *Char* yang tersisa akan terjebak di bagian bawah tungku, sedangkan produk gas akan mengalir keluar melalui bagian atas tungku.



Gambar 2.10 Proses pada gasifikasi *updraft*  
Sumber : Basu (2010)

### 2.3.5 Faktor yang Mempengaruhi Gasifikasi

#### A. Karakteristik Bahan Baku

##### 1. Kandungan Energi

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki bahan baku (biomassa), maka potensi energi yang dapat dikonversi juga semakin besar.

##### 2. Kadar Air

Bahan baku untuk gasifikasi pada umumnya disarankan dengan kadar air yang rendah. Pada umumnya kadar air maksimal pada bahan baku gasifikasi adalah 20%.

##### 3. Debu

Debu akan berpotensi untuk menyubut saluran.

##### 4. Tar

Tar adalah salah satu kandungan hasil gasifikasi yang paling merugikan, karena sifatnya yang korosif, berbau tajam dan menurunkan kualitas produk gas. Tar terbentuk pada temperatur pirolisis dan terkondensasi.

## B. Desain *Gasifier*

Hasil produk gas juga tergantung pada desain *gasifier* yang digunakan. Sebagai contoh, Jika menggunakan *updraft*, maka produk gas akan banyak mengandung tar.

## C. Media Gasifikasi

Media gasifikasi juga akan mempengaruhi hasil produk gas. Ada tiga media untuk gasifikasi, yaitu udara, uap dan oksigen. Sebagai contoh, jika menggunakan udara untuk media gasifikasi, maka kandungan nitrogen pada produk gas akan tinggi (mayoritas udara terdiri dari nitrogen).

### 2.4 *Syngas*

*Syngas* adalah campuran antara gas hidrogen ( $H_2$ ) dan karbonmonoksida (CO). *Syngas* adalah bahan baku yang cukup penting untuk industri bidang energi dan kimia. Produk gas berbeda dengan *syngas*. Pada umumnya produk gas hasil gasifikasi mengandung hidrogen, uap air, karbon monoksida, karbon dioksida, metana dan beberapa senyawa lainnya. Dari campuran yang ada pada produk gas, hidrogen dan karbon monoksida harus dipisahkan untuk memproduksi *syngas*.

### 2.5 Sampah Organik

Sampah organik merupakan sampah yang dapat dengan cepat terurai, terdegradasi atau membusuk, terutama yang berasal dari sisa makanan. Sampah jenis ini mudah terdekomposisi karena aktivitas mikroorganisme. Sehingga dalam pengolahannya perlu dilakukan dalam waktu yang sesingkat mungkin baik dalam pengumpulan, pemrosesan maupun pengangkutan.

Penentuan komposisi sampah organik yang ada di TPA/TPS sangatlah kompleks bahkan dapat dikatakan tidak mungkin bisa presisi karena komposisi sampah organik setiap tempat dan waktu pengambilan sampel akan menghasilkan komposisi yang berbeda-beda sehingga Dalam penelitian ini penulis membagi sampah kedalam 2 golongan yaitu:

#### a) Sampah dapur

Yang termasuk ke dalam golongan sampah dapur adalah sampah yang dihasilkan dari kebiasaan konsumsi makanan manusia seperti sampah buah-buahan, dan sayur-sayuran.

#### b) Sampah daun dan tanaman

Sampah daun dan tanaman adalah sampah organik yang dihasilkan oleh tumbuhan baik berupa daun, ranting, dahan yang jatuh atau patah dari tumbuhan tersebut. Sampah tersebut

biasanya didapat dari sapuan halaman rumah atau taman. Dalam pengolahannya sampah jenis ini lebih sering dibuat kompos atau dibakar secara langsung.

## 2.6 Hipotesis

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dan dasar teori yang ada, maka didapatkan hipotesis yaitu penambahan plastik LDPE pada sampah organik berpotensi meningkatkan konsentrasi  $H_2$  pada produk gas dan karena LDPE terdiri dari rantai karbon panjang yang akan terpecah menjadi rantai karbon yang lebih pendek, maka konsentrasi  $CH_4$  pun akan meningkat.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Dalam penelitian ini, spesimen yang digunakan adalah sampah organik kering yang dicampurkan dengan plastik LDPE dengan persentase LDPE 0%, 5%, 10% dan 15%. Proses gasifikasi dilakukan pada temperatur 700°C dengan metode gasifikasi *updraft*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang dan dilaksanakan pada Maret 2018 – Mei 2018.

### 3.2 Variabel Penelitian

#### a. Variabel Bebas

Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah persentase plastik LDPE pada campuran spesimen sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% dari total massa spesimen.

#### b. Variabel Terkontrol

Pada penelitian ini, variabel terkontrol yang digunakan adalah lama waktu gasifikasi 190 menit, temperatur awal gasifikasi 27 °C – 30°C, temperatur selama gasifikasi 700°C, dan massa spesimen 200 gr.

#### c. Variabel Terikat

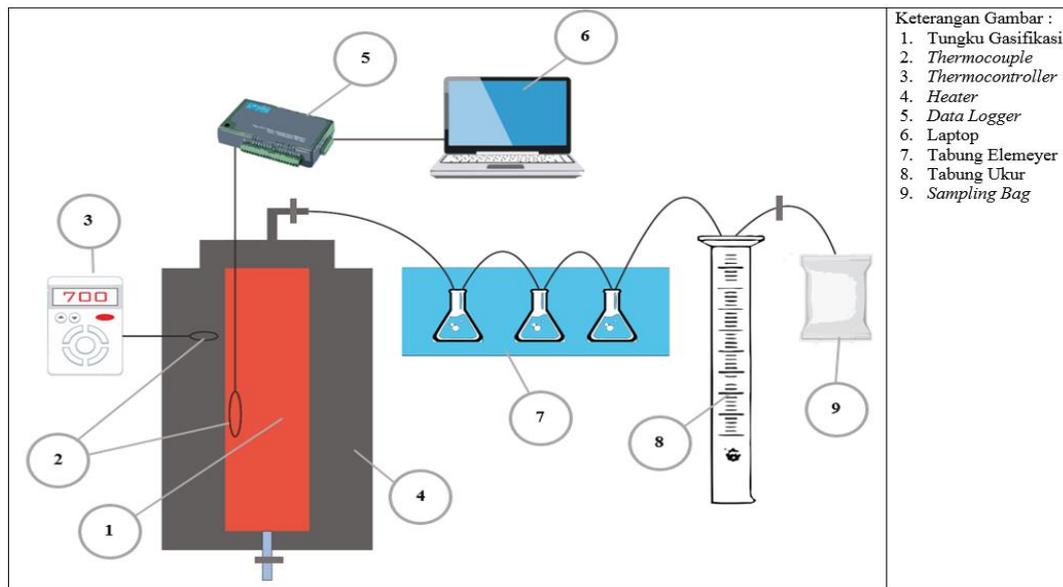
Pada penelitian ini, variabel terikat yang digunakan adalah laju pemanasan gasifikasi, volume gas total, kandungan gas hasil gasifikasi dan nilai kalor (HHV) gas hasil gasifikasi.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Alat Penelitian

##### A. Instalasi Gasifikasi

Instalasi gasifikasi digunakan dalam jalannya proses gasifikasi. Bahan baku berupa sampah organik dengan tambahan plastik LDPE dimasukkan ke dalam *gasifier* dan suhu pemanasannya diatur dengan *thermocontroller* seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.1 Instalasi gasifikasi

Penjelasan gambar :

### 1) Tungku Gasifikasi

Tungku gasifikasi berfungsi sebagai tempat meletakkan spesimen untuk proses gasifikasi. Spesifikasi tungku gasifikasi :

- Material : Besi
- Bentuk : Silinder
- Diameter : 20 cm

### 2) Thermocouple

Instalasi ini menggunakan dua buah *thermocouple* tipe K. *Thermocouple* pertama digunakan untuk mengukur temperatur *heater* sehingga temperatur dari *heater* dapat diatur oleh *thermocontroller*. *Thermocouple* kedua digunakan untuk mengukur temperatur spesimen yang ada di dalam *gasifier*. Spesifikasi *thermocouple*

- Tipe : K
- Bahan : Ni-Cr dan Ni-Al
- Temperatur Kerja : -270 °C sampai 1350 °C
- Sensitivitas : 40,6  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

### 3) Thermocontroller

*Thermocontroller* digunakan untuk mengatur temperatur *heater* dengan memanfaatkan *thermocouple* tipe-K pada *heater* sebagai sensornya. Sehingga temperatur *heater* tidak melebihi / kurang dari temperatur yang sudah ditetapkan. *Thermocontroller* juga berfungsi sebagai saklar dari *heater*.

Spesifikasi *thermocontroller* :

- Merk : Mitsubishi
- Tipe : *on - off*

#### 4) Heater

*Heater* berfungsi sebagai pemanas tungku gasifikasi atau *gasifier*. Berikut ini adalah spesifikasi *heater* :

- Jenis : *coil / bar heater*
- Temperatur maksimal : 750 °C

#### 5) Data Logger

*Data logger* berfungsi untuk merekam pengukuran yang dilakukan oleh *thermocouple* yang kemudian diolah ke dalam bentuk digital sehingga data-data penelitian seperti kenaikan temperatur terhadap waktu selama proses gasifikasi dapat diketahui. Spesifikasi *data logger* yang digunakan

- *Input* : Analog
- *Channels* : 16 *single-ended / 8 differential*  
(*Software Programmable*)
- *Resolution* : 16 bits
- *Max. Sampling rate* : 200 kS/s (*for USB2.0*)

#### 6) Laptop

Laptop digunakan untuk menyimpan dan mengolah data yang dikirimkan dari *data logger*.

#### 7) Tabung Elemeyer

Pada instalasi, terdapat 3 tabung elemeyer yang dipasang secara seri. Semua tabung dimasukkan ke dalam kotak es yang digunakan untuk mengkondensasi gas sehingga menjadi bentuk cair (tar). Tar tersebut kemudian tertampung di dalam tabung elemeyer, sedangkan gas yang tidak dapat terkondensasi akan keluar dari tabung.

#### 8) Tabung Ukur

Tabung ukur digunakan untuk mengukur volume total gas yang dihasilkan selama proses gasifikasi berlangsung. Gas yang terukur merupakan gas yang tidak dapat terkondensasi setelah melewati tabung elemeyer. Spesifikasi tabung ukur

- Material : Mika
- Diameter : 5,54 cm

### 9) *Sampling Bag*

*Sampling bag* digunakan untuk menampung gas hasil gasifikasi yang dibutuhkan untuk pengujian kandungan gas. Berikut ini adalah spesifikasinya :

- Jenis : Tedlar Bag
- Kapasitas : 1 liter

### B. *Oven*

*Oven* digunakan untuk mengeringkan sampah organik. Dengan spesifikasi :

- Merk : Maspion S301
- Daya : 300 watt & 600 watt

### C. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk mengukur lamanya waktu proses gasifikasi dan lamanya kenaikan volume gas.

### D. *Moisture Analyzer*

*Moisture analyzer* digunakan untuk mengukur kandungan kadar air pada sampah organik. Spesifikasi :

- *Type* : MOC-120H
- *Measurement format* : *Evaporation weight loss method*
- *Sample weight* : 0.5 – 120 gram
- *Minimum display* : *Moisture content 0.01%; weight : 0.001 gram*
- *Measurable quantities* : *Moisture content (wet and dry base), weight, solid*
- *Heater temperature* : 30 - 200°C
- *Display* : *Backlit LCD (137 x 43mm)*
- *Heat source* : 625 watt
- *Power supply* : AC 100-120 / 220-240 V ( 50/60 Hz)
- *Power consumption* : Max 640 watt

### E. *Timbangan Elektrik*

Timbangan elektrik digunakan untuk mengukur massa spesimen sebelum gasifikasi dan mengukur massa char dan tar hasil gasifikasi. Spesifikasi :

- Merk : ACIS BC 500
- Kapasitas maksimal : 500 gram

### F. *Gas Chromatography (GC)*

*Gas Chromatography* digunakan untuk pengujian kandungan gas hasil gasifikasi, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Shimadzu
- Tipe : GC-2010 *Plus*
- Injektor : *Split*
- Kolom : RT-Q-BOND
- Detektor : *Thermal Conductivity Detector*

### 3.3.2 Bahan Penelitian

1. Sampah organik
2. Plastik LDPE

## 3.4 Prosedur Penelitian

### 3.4.1 Proses Persiapan Spesimen

#### A. Sampah Organik

Sampah organik diambil langsung dari TPST Dau, Malang. Pengambilan dilakukan secara sekaligus untuk seluruh spesimen. Sampah organik kemudian dihancurnya menjadi potongan yang kecil dengan menggunakan mesin pencacah. Kemudian, sampah organik dipanaskan dalam 2 tahap. Tahap pertama pemanasan bertujuan agar sampah organik menjadi lebih kering dan dapat diblender sehingga menjadi potongan yang lebih kecil. Tahap kedua pemanasan bertujuan untuk mengurangi kadar air pada sampah organik hingga berada pada rentang 1 – 2% (didapatkan kadar air 1,3%, diuji dengan *moisture analyzer*).

#### B. Plastik LDPE

Plastik LDPE dipotong menjadi ukuran yang kecil dengan menggunakan gunting

#### C. Campuran Spesimen

Sampah organik dan plastik LDPE dicampurkan sesuai dengan variasi dalam variabel bebas yang sudah ditentukan. Pencampuran dilakukan dengan bantuan *mixer*.

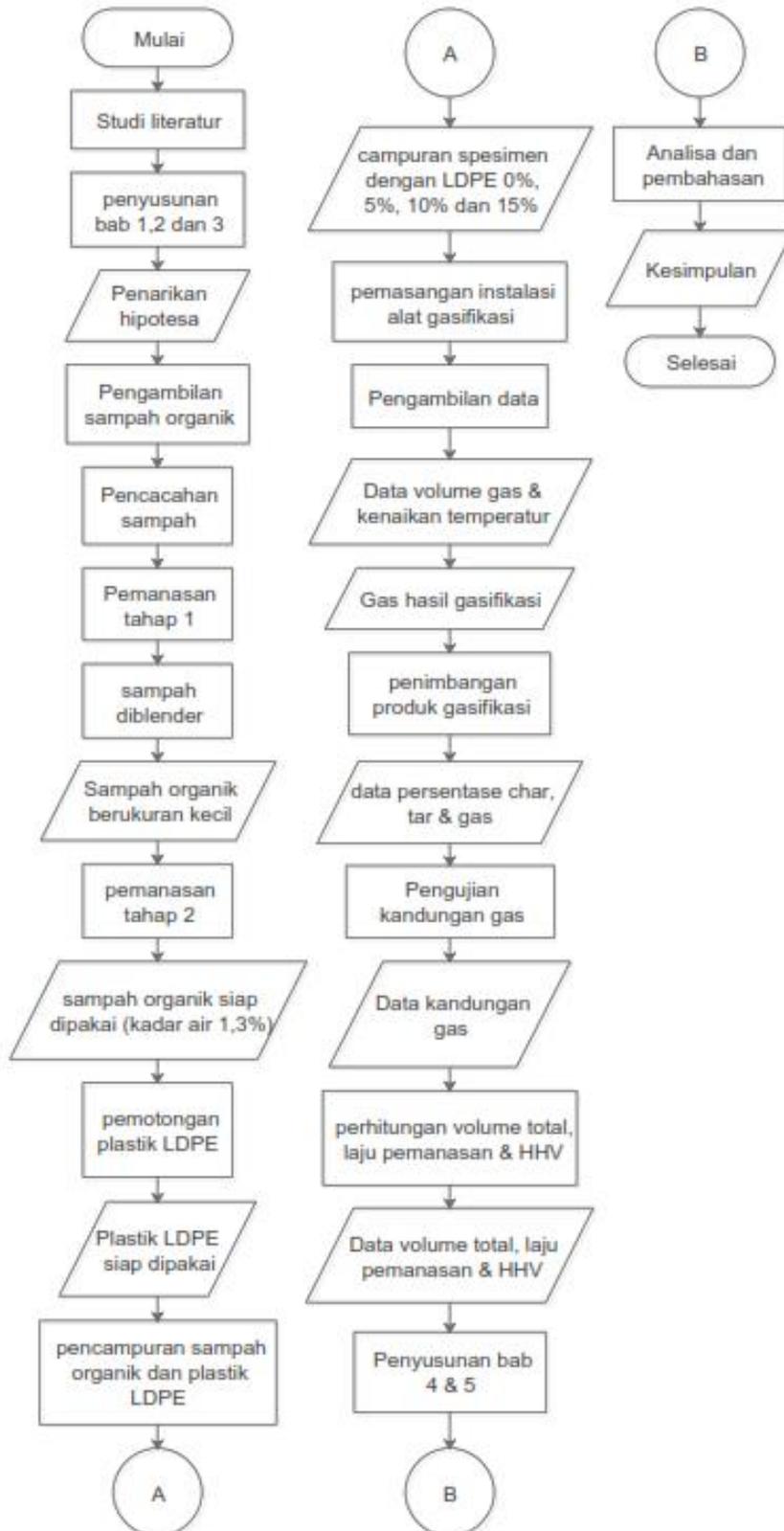
### 3.4.2 Proses Gasifikasi

Setelah instalasi terpasang dengan sempurna sesuai dengan Gambar 3.1, spesimen berupa campuran sampah organik dan plastik LDPE dimasukan ke dalam *gasifier*. Kemudian, ditutup dengan sangat rapat dan memastikan tidak ada celah kebocoran pada instalasi. Temperatur pada *thermocontroller* diatur ke temperatur 700°C. Kemudian saklarnya diaktifkan untuk menyalakan *heater* bersamaan dengan menekan *start* di laptop

untuk menjalankan *data logger*. Pengambilan data dimulai dari pencatatan volume gas total yang terukur pada gelas ukur selama gasifikasi berlangsung. Saat temperatur sudah mencapai 700°C, temperatur dijaga konstan dan gas yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam *sampling bag*. Pastikan tidak ada kebocoran pada *sampling bag*. Setelah seluruh data yang dibutuhkan terpenuhi, matikan seluruh instalasi dan timbang hasil *char* dan *tar* yang terbentuk.



### 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengolahan Data

Data yang diambil pada proses gasifikasi adalah temperatur gasifikasi, tinggi total gas dalam tabung ukur dan waktu gasifikasi. Temperatur dan waktu gasifikasi digunakan untuk mengolah data laju pemanasan, sedangkan tinggi total gas dalam tabung ukur digunakan untuk mengolah data volume total gas hasil gasifikasi.

- Volume total gas hasil gasifikasi

$$V = (\pi \times r^2 \times h) / 1000 \dots\dots\dots(4-1)$$

dengan :

- $V$  : Volume total gas hasil gasifikasi (liter)
- $\pi$  : 3,14
- $r$  : jari-jari tabung = 2,775 cm
- $h$  : ketinggian total gas dalam tabung ukur (cm)

Tabel 4.1  
Volume Total Gas Hasil Gasifikasi

Variasi Spesimen	Ketinggian total gas (cm)	Volume total gas (liter)
LDPE 0%	2079	50,27
LDPE 5%	2127	51,43
LDPE 10%	2154	52,08
LDPE 15%	2176	52,62

- Laju pemanasan gasifikasi

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots(4-2)$$

dengan :

- $\Delta T/\Delta t$  : Laju pemanasan gasifikasi (°C / menit)
- $T_2$  : Temperatur puncak gasifikasi (700 °C)
- $T_1$  : Temperatur awal gasifikasi (30 °C)
- $t_2$  : waktu yang ditempuh untuk mencapai 700 °C (menit)
- $t_1$  : waktu awal gasifikasi (menit)

Tabel 4.2  
Laju pemanasan Gasifikasi

Variasi	Temperatur (°C)		Waktu (menit)		Laju pemanasan (°C / menit)
	Awal	Puncak	Awal	Akhir	
LDPE 0%	30	700	0	87	7,70
LDPE 5%	30	700	0	83	8,07
LDPE 10%	30	700	0	81,3	8,24
LDPE 15%	30	700	0	75	8,93

- Nilai kalor (HHV) produk gas

- Dalam Satuan MJ/m<sup>3</sup>

$$HHV_{gas} = (\% \text{ Volume } H_2 \times HHV_{H_2}) + (\% \text{ Volume } CH_4 \times HHV_{CH_4}) \dots\dots\dots (4-3)$$

dengan :

*HHV gas* : Nilai kalor gas total (MJ/m<sup>3</sup>)

*% Volume H<sub>2</sub>* : Konsentrasi volume H<sub>2</sub> dalam gas (m<sup>3</sup>)

*% Volume CH<sub>4</sub>* : Konsentrasi volume CH<sub>4</sub> dalam gas (m<sup>3</sup>)

*HHV H<sub>2</sub>* : Nilai kalor gas H<sub>2</sub> (12,76 MJ/m<sup>3</sup>)

*HHV CH<sub>4</sub>* : Nilai kalor gas CH<sub>4</sub> (39,76 MJ/m<sup>3</sup>)

- Dalam Satuan MJ/kg

$$Massa_{H_2} = \% \text{ mol } H_2 \times MR_{H_2} \dots\dots\dots (4-4)$$

$$Massa_{CH_4} = \% \text{ mol } CH_4 \times MR_{CH_4} \dots\dots\dots (4-5)$$

$$Massa_{CO_2} = \% \text{ mol } CO_2 \times MR_{CO_2} \dots\dots\dots (4-6)$$

$$Massa_{total \text{ gas}} = Massa_{H_2} + Massa_{CH_4} + Massa_{CO_2} \dots\dots\dots (4-7)$$

$$HHV_{gas} = (\% \text{ Massa } H_2 \times HHV_{H_2}) + (\% \text{ Massa } CH_4 \times HHV_{CH_4}) \dots\dots\dots (4-8)$$

dengan :

*Massa H<sub>2</sub>* : Massa H<sub>2</sub> dalam gas (g)

*Massa CH<sub>4</sub>* : Massa CH<sub>4</sub> dalam gas (g)

*Massa CO<sub>2</sub>* : Massa CO<sub>2</sub> dalam gas (g)

*HHV H<sub>2</sub>* : Nilai kalor H<sub>2</sub> (142 MJ/kg)

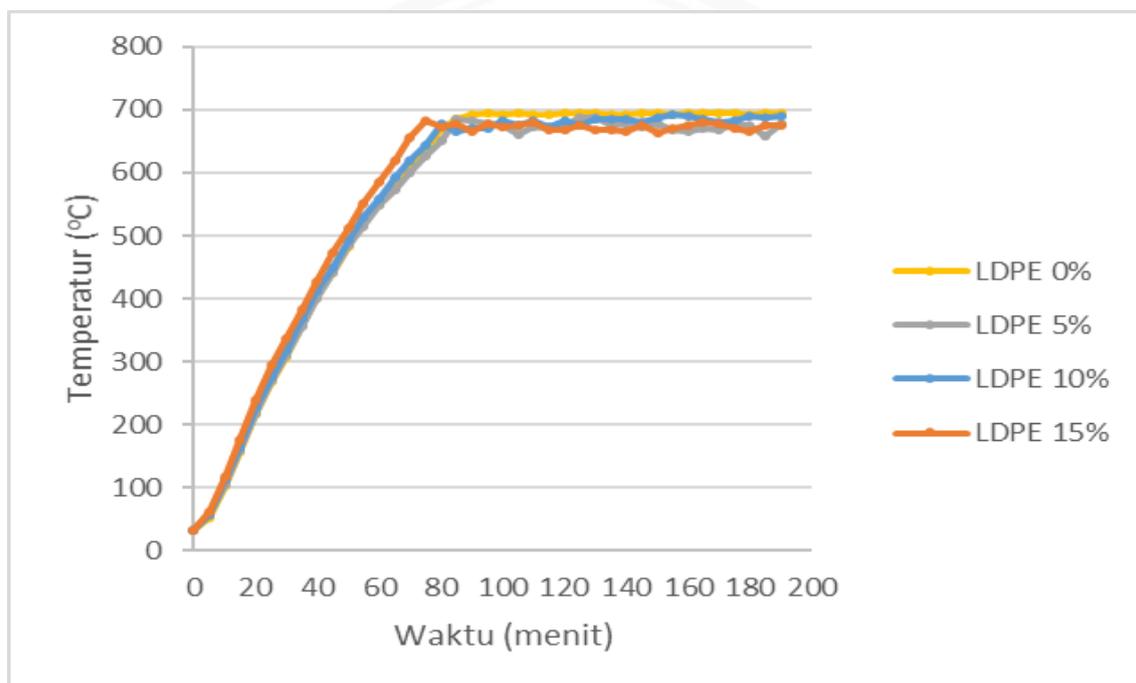
*HHV CH<sub>4</sub>* : Nilai kalor CH<sub>4</sub> (55,6 MJ/kg)

*HHV gas* : Nilai kalor gas total (MJ/kg)

## 4.2 Pembahasan dan Analisa Data

### 4.2.1 Analisa Hubungan Temperatur Pemanasan Terhadap Waktu Gasifikasi

Pada Gambar 4.1, dapat dilihat hubungan antara temperatur pemanasan terhadap waktu gasifikasi, data pada grafik dapat diolah menjadi data laju pemanasan. Laju pemanasan gasifikasi sampah organik dengan variasi LDPE 0%, 5%, 10% dan 15% secara berurutan adalah 7,70 °C/menit, 8,07 °C/menit, 8,24 °C/menit dan 8,93 °C/menit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan plastik LDPE pada sampah organik akan meningkatkan laju pemanasan gasifikasi.

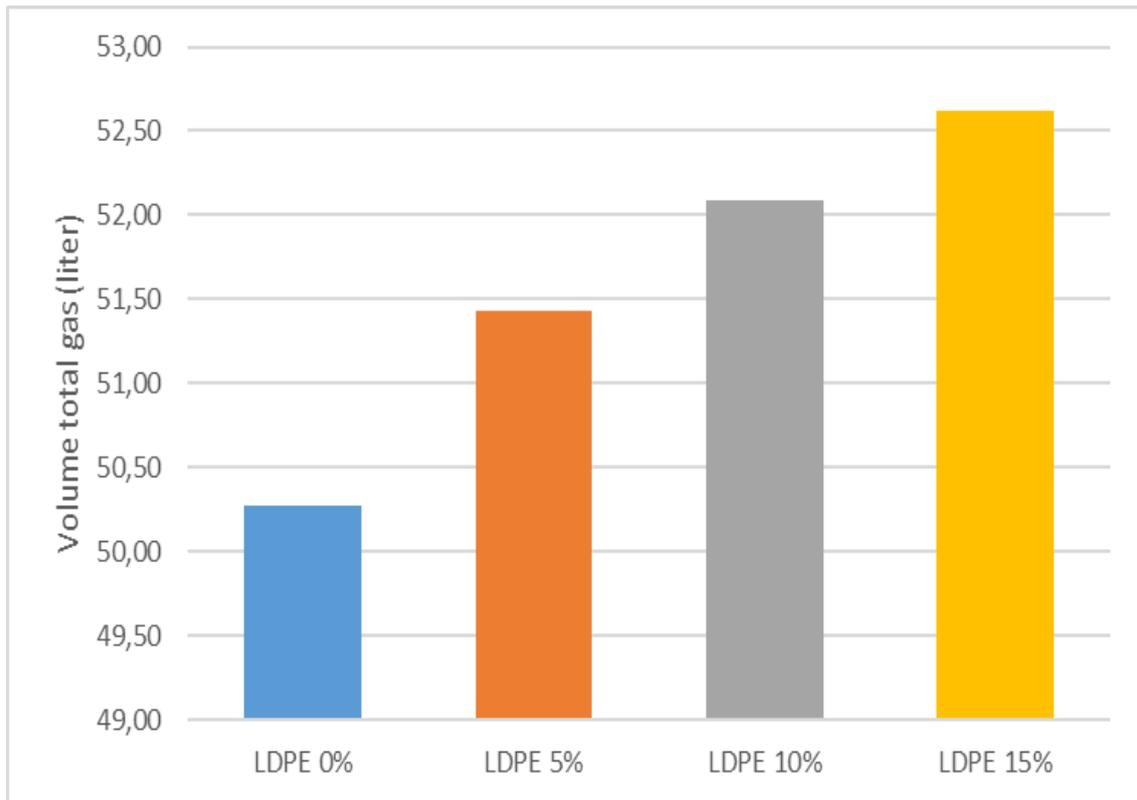


Gambar 4.1 Hubungan temperatur pemanasan terhadap waktu gasifikasi

Hal ini terjadi karena panas jenis plastik lebih tinggi dari sampah organik, sehingga semakin banyak campuran plastik yang ditambahkan maka panas jenis campuran spesimen akan semakin tinggi dan mengakibatkan laju pemanasannya akan semakin tinggi pula.

### 4.2.2 Analisa Volume Total Gas Hasil Gasifikasi

Pada Gambar 4.2, dapat dilihat volume total gas hasil gasifikasi dari seluruh spesimen. Terjadi kenaikan volume total gas hasil gasifikasi seiring tingginya persentase LDPE pada sampah organik. Nilai volume total gas hasil gasifikasi dari spesimen sampah organik dengan campuran plastik LDPE 0%, 5%, 10% dan 15% secara berturut-turut adalah 50,27 liter, 51,43 liter, 52,08 liter dan 52,62 liter.



Gambar 4.2 Volume Total Gas Hasil Gasifikasi

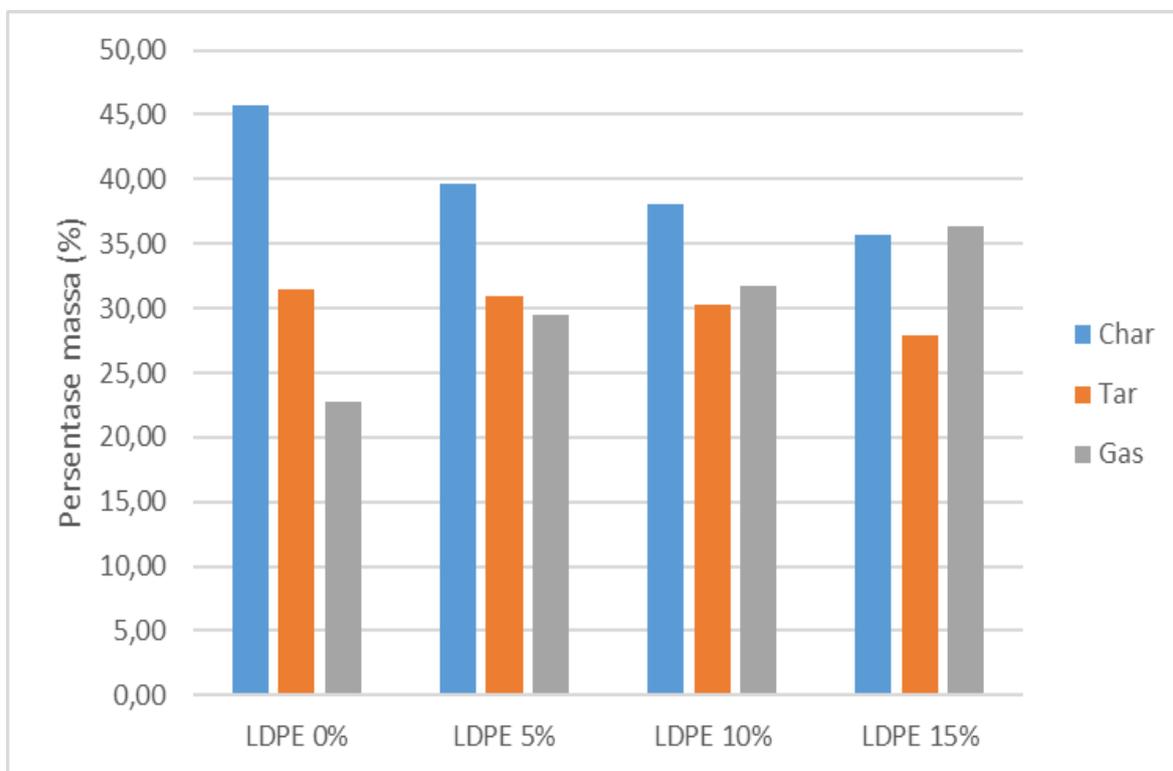
Kenaikan ini disebabkan oleh laju pemanasan gasifikasi yang berbeda-beda pada tiap variasi. Variasi LDPE 0% dengan laju pemanasan  $7,68\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  menghasilkan volume total gas yang paling sedikit dibanding variasi lainnya. Sedangkan Variasi LDPE 15% dengan laju pemanasan  $8,91\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  menghasilkan volume total gas yang paling banyak dibanding dengan variasi lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Semakin tinggi persentase LDPE pada sampah organik akan meningkatkan volume total gas hasil gasifikasi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi laju pemanasan gasifikasi, kenaikan temperatur menuju temperatur gasifikasi akan semakin cepat dan menyebabkan pemanasan spesimen di temperatur gasifikasi akan semakin lama, sehingga gas yang dihasilkan akan semakin banyak, serta volume total gas hasil gasifikasi pun akan semakin tinggi.

#### 4.2.3 Analisa Char, Tar dan Gas Hasil Gasifikasi

Dari Gambar 4.3 dan Tabel 4.3, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase plastik LDPE pada sampah organik, akan menurunkan persentase char dan tar serta meningkatkan persentase gas hasil gasifikasi.

Sampah organik akan terdekomposisi menjadi char, tar dan gas. Plastik LDPE terbuat dari hidrokarbon rantai panjang yang apabila berada dalam kondisi gasifikasi (temperatur dan laju pemanasan yang tinggi) akan terpecah serta menghasilkan gas yang banyak dan tar

yang sedikit. Banyaknya char pada variasi spesimen 0% dikarenakan persentase massa sampah organik pada spesimen ini adalah yang paling banyak dibanding variasi spesimen lain.



Gambar 4.3 Char, tar dan gas hasil gasifikasi

Tabel 4.3  
Persentase Produk Gasifikasi

Variasi	Persentase Massa (%)		
	Char	Tar	Gas
LDPE 0%	45,77	31,52	22,72
LDPE 5%	39,6	31,0	29,4
LDPE 10%	38,0	30,2	31,8
LDPE 15%	35,7	27,9	36,4

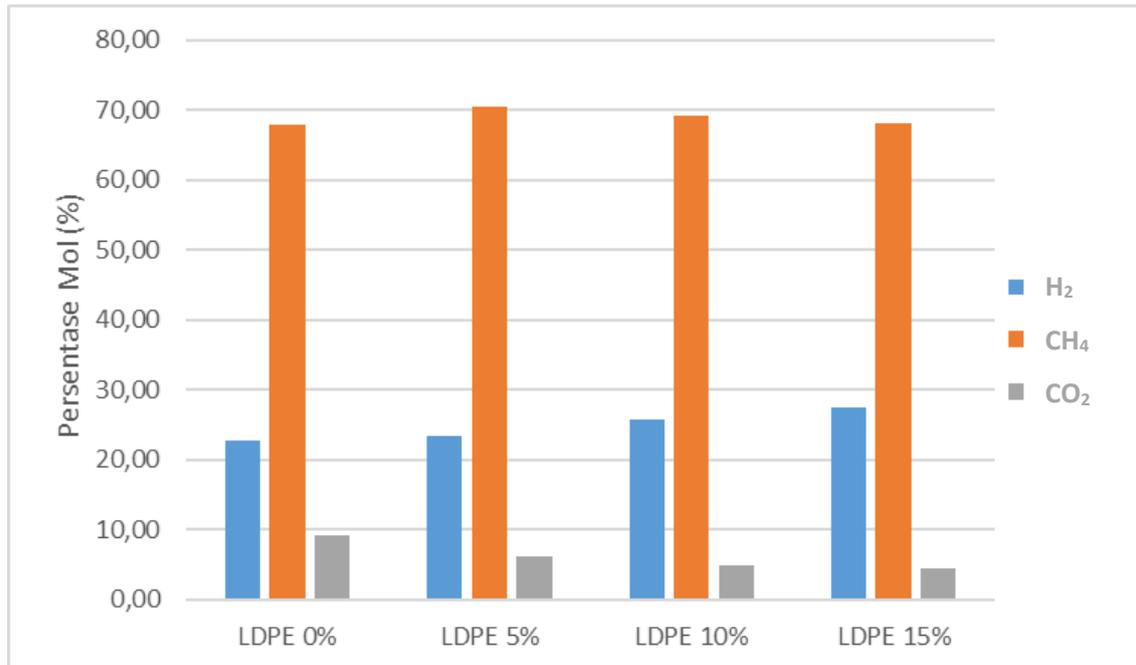
#### 4.2.4 Analisa Kandungan Gas Hasil Gasifikasi

Pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.1 dapat dilihat grafik komposisi gas pada tiap variasi spesimen. Semakin tinggi persentase LDPE pada sampah organik, maka persentase H<sub>2</sub> pada produk gas akan semakin tinggi. Tingginya persentase H<sub>2</sub> disebabkan oleh reaksi seperti :

- *Methane steam reforming*  
 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2$
- *Water-gas shift reaction*  
 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}_2$

Pada *methane steam reforming*, reaksi ini membutuhkan  $\text{CH}_4$  yang didapatkan dari reaksi :

- *Methanation*  
 $\text{C} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4$



Gambar 4.4 Kandungan Gas Hasil Gasifikasi

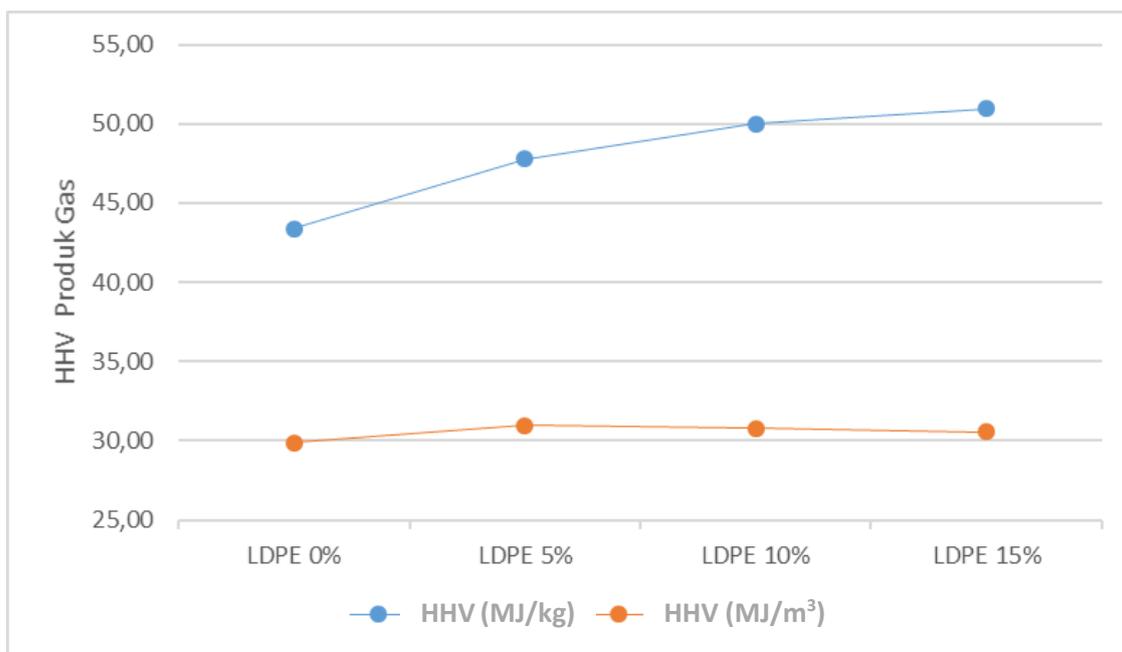
Tabel 4.4  
Kandungan Gas Hasil Gasifikasi

Variasi	Persentase (%)		
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
LDPE 0%	22,86	67,84	9,30
LDPE 5%	23,33	70,41	6,27
LDPE 10%	25,82	69,20	4,98
LDPE 15%	27,46	68,05	4,49

Plastik LDPE adalah hidrokarbon rantai panjang yang kemudian terpecah menjadi hidrokarbon rantai pendek seperti  $\text{CH}_4$ . Dari ketiga reaksi di atas, dapat disimpulkan bahwa seiring kenaikan variasi persentase LDPE pada sampah organik, akan terjadi penurunan persentase  $\text{CH}_4$  yang disebabkan karena  $\text{CH}_4$  digunakan untuk membentuk  $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2$ . Sehingga persentase  $\text{H}_2$  akan naik.

#### 4.2.5 Analisa Nilai Kalor (HHV) Gas Hasil Gasifikasi

Pada Gambar 4.5 dan Tabel 4.5 dapat dilihat grafik nilai HHV produk gas pada tiap variasi spesimen. Dalam satuan MJ/kg, HHV tertinggi adalah gas dari variasi spesimen LDPE 15%, Sedangkan dalam satuan MJ/m<sup>3</sup>, HHV tertinggi adalah gas dari variasi spesimen LDPE 5%.



Gambar 4.5 Nilai Kalor (HHV) Gas Hasil Gasifikasi

Tabel 4.5  
Nilai Kalor (HHV) Gas Hasil Gasifikasi

Variasi	HHV (MJ/kg)	HHV(MJ/m <sup>3</sup> )
LDPE 0%	43,40	29,89
LDPE 5%	47,80	30,97
LDPE 10%	50,00	30,81
LDPE 15%	50,95	30,56

Hal ini terjadi karena terdapat satu variabel yang menghubungkan volume gas dengan massa gas, yaitu massa jenis. CH<sub>4</sub> memiliki massa jenis yang lebih tinggi dibanding H<sub>2</sub>. Sehingga walau volume gas pada variasi spesimen LDPE 15% lebih tinggi dari LDPE 5%, massa gas pada variasi LDPE 5% lebih tinggi dari LDPE 15%.

Selain itu nilai HHV pada tiap senyawa juga mempengaruhi HHV pada campuran gas. Gas H<sub>2</sub> memiliki nilai HHV sebesar 142 MJ/kg atau 12,75 MJ/m<sup>3</sup>. Sedangkan gas CH<sub>4</sub> memiliki nilai HHV sebesar 55,6 MJ/kg atau 39,76 MJ/m<sup>3</sup>. Dalam satuan MJ/kg, H<sub>2</sub> memiliki nilai HHV yang lebih tinggi dari CH<sub>4</sub>, Sedangkan dalam satuan MJ/m<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>

memiliki nilai HHV yang lebih rendah dari  $\text{CH}_4$ . Dalam perhitungan HHV ini,  $\text{CO}_2$  diabaikan karena tidak memiliki nilai kalor.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan terhadap gasifikasi sampah organik dengan variasi campuran plastik LDPE, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu semakin tinggi persentase LDPE pada sampah organik, maka akan terjadi peningkatan pada laju pemanasan spesimen, volume total gas hasil gasifikasi, dan konsentrasi H<sub>2</sub> pada produk gas. Serta menurunkan persentase char dan tar pada produk gasifikasi. Selain itu, Nilai HHV dalam satuan MJ/kg yang tertinggi adalah pada variasi spesimen LDPE 15%, sedangkan dalam satuan MJ/m<sup>3</sup> yang tertinggi adalah pada variasi spesimen LDPE 5%.

### 5.2 Saran

Berikut ini adalah saran-saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya, di antaranya :

1. Variasi persentase LDPE bisa ditambahkan hingga mencapai variasi LDPE 100%.
2. Menambahkan *pressure gauge* pada instalasi tungku gasifikasi agar tekanan dalam tungku dapat diketahui.
3. Menggunakan medium gasifikasi selain udara.
4. Menguji komposisi sampah organik dengan analisa ultimat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, Jon. et al. 2014. *Hydrogen Production from Biomass and Plastic Mixtures by Pyrolysis-Gasification*. Bilbao : University of The Basque Country.
- Basu, Prabir. 2006. *Combustion and Gasification in Fluidized Bed*. Florida : CRC Press.
- Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis – Practical Design and Theory*. New York : Elsevier.
- Encyclopaedia Britannica. (1997). *Low-density polyethylene*.  
<https://www.britannica.com/science/low-density-polyethylene>. (Diakses 7 Juni 2018)
- SubTech. 2013. *Thermoplastic Low Density Polyethylene (LDPE)*.  
[http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=thermoplastic\\_low\\_density\\_polyethylene\\_ldpe](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=thermoplastic_low_density_polyethylene_ldpe). (Diakses 7 Juni 2018)
- Higman, Chris dan Maarten van der Burgt. 2003. *Gasification*. New York : Elsevier
- Jiao, Zheng dan Chi Yong. 2009. *Charateristics of The Pyrolysis and Gasification of Low Density Polyethylene (LDPE)*. Hangzhou : Zhejiang University.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2015, *Mengurangi Sampah dengan Olah di Tempat*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Lettner, Friedrich, Helmut Timmerer dan Peter Haselbacher. 2007. *Gasification Guide : Biomass Gasification – State of The Art Description*. Graz : Graz University of Technology.
- Lopez, Gartzten. et al. 2015. *Effect of PE co-Feeding in The Steam Gasification of Biomass in A Conical Spouted Bed Reactor*. Bilbao : University of The Basque Country
- Moghadam, Reza Alipour. et al. 2013 *Hydrogen Production From Mixture of Biomass and Polyethylene Waste in Fluidize Bed Catalytic Steam Co-Gasification Process*. Perak : Universiti Teknologi Petronas.
- Sadaka, Sammy. 2017. *Gasification, Producer Gas and Syngas*. Arkansas : University of Arkansas.
- Waldheim, Lars. 2001. *Heating Value of Gases from Biomass Gasification*. Nykoping : TPS Termiska Processer AB.
- Yadav, Sunil. 2013. *Energy From Municipal Waste Using A Gasifier*. Rourkela : National Institute of Technology Rourkela.