

**ANALISIS KEBUTUHAN ENERGI PADA PROSES PRODUKSI  
BAHAN BAKAR DARI LIMBAH *POLYETHYLENE* DAN  
BIAYA PROSES PRODUKSINYA**

**Tesis**

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua (S-2)  
Sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



Disusun oleh :

**Enggar Hero Istoto**  
**30000515410003**

**PROGRAM MAGISTER ENERGI  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2019**

**TESIS**

**ANALISIS KEBUTUHAN ENERGI PADA PROSES PRODUKSI  
BAHAN BAKAR DARI LIMBAH *POLYETHYLENE* DAN  
BIAYA PROSES PRODUKSINYA**



**Disusun Oleh :**

**Enggar Hero Istoto  
30000515410003**

**PROGRAM MAGISTER ENERGI  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2019**

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis saya yang berjudul “**Analisis Kebutuhan Energi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Dari Limbah *Polyethylene* Dan Biaya Proses Produksinya**” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister dari Program Studi Magister Energi disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing.

Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini. Tesis ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, 25 Juni 2019



Enggar Hero Istoto  
NIM. 30000515410003

**HALAMAN PENGESAHAN  
TESIS**

**ANALISIS KEBUTUHAN ENERGI PADA PROSES PRODUKSI BAHAN  
BAKAR DARI LIMBAH *POLYETHYLENE* DAN BIAYA PROSES  
PRODUKSINYA**

Disusun oleh:

Enggar Hero Istoto  
30000515410003

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji  
Pada tanggal 25 Juni 2019

Tim Penguji,

Pembimbing I,

Prof. Dr. Widayat, S.T., M.T  
NIP. 197206091998031001

Penguji I,

Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T  
NIP. 196511231994031003

Pembimbing II,

Dr. Singgih Saptadi, S.T., M.T  
NIP. 197403162001121001

Penguji II,

Dr. Sri Widodo Agung Suedy, M.Si  
NIP. 197302012000031001

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh  
gelar Magister Energi tanggal 10 Juli 2019

Ketua Program Studi  
Magister Energi,

Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T  
NIP. 196511231994031003

Dekan Sekolah Pascasarjana  
Universitas Diponegoro,



Dr. B.B. Sularto, S.H., M.Hum  
NIP. 196701011991031005

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Mahasiswa : Enggar Hero Istoto  
NIM : 30000515410003  
Program Studi : Magister Energi Sekolah Pascasarjana  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

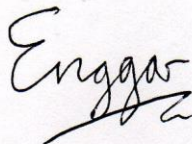
**Analisis Kebutuhan Energi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Dari Limbah  
*Polyethylene* Dan Biaya Proses Produksinya**

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : **25 Juni 2019**

Yang menyatakan,



Enggar Hero Istoto

NIM. 30000515410003

## KATA PENGANTAR

Bismillahir rahmaanir rahiim, segala puji dan syukur ke hadirat Allah Swt yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tesis yang berjudul “**Analisis Kebutuhan Energi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Dari Limbah *Polyethylene* dan Biaya Proses Produksinya**”. Laporan tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan proposal tesis ini yaitu kepada:

1. Prof. Dr. Widayat, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing I atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramahannya dalam membimbing penulis mengerjakan Tesis
2. Dr. Singgih Saptadi, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing II atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramahannya dalam membimbing penulis mengerjakan Tesis
3. Ayah, ibu, dan keluarga tercinta yang selalu tiada henti dalam memberikan dorongan semangat serta doa kepada penulis
4. Pak Ikhsanudin dan keluarga yang memberikan bantuan dalam penyempurnaan alat dan mengatasi segala kendala saat proses pengambilan data
5. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari dalam penyusunannya masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharap saran dan kritik yang membangun agar penyusunannya menjadi sempurna dan dapat memberi nilai tambah bagi penulis khususnya dan semoga bermanfaat bagi masyarakat secara lebih luas.

Semarang, Juni 2019

Enggar Hero Istoto, S.Si

## BIODATA PENULIS



Enggar Hero Istoto adalah putra kedua dari dua bersaudara pasangan Wardoyo, BA dan Ambarwati Sri Murniningsih lahir di Kota Semarang tanggal 4 November 1992. Bakatnya di dunia pendidikan telah nampak sejak kecil. Pada saat menempuh pendidikan TK hanya ditempuh selama 1 tahun di TK Budi Rini Semarang. Kemudian melanjutkan studi di SDN Anjasmoro 01 (sekarang SDN Tawang Mas 01) dengan menjadi lulusan terbaik di tahun 2004, SMP Negeri 1 Semarang tahun 2007, SMA Negeri 5 Semarang, dan melanjutkan studi di jurusan Biologi program studi Biologi konsentrasi Biologi Lingkungan Universitas Negeri Semarang tahun 2014 mendapatkan gelar sarjana sains (S.Si).

Laki-laki yang akrab disapa Enggar ini pada awalnya bercita-cita menjadi seorang penerbang TNI-AU, lalu berpindah haluan ingin menjadi seorang dokter, karena keterbatasan biaya akhirnya bercita-cita sebagai seorang teknokrat seperti B.J Habibie tetapi berkecimpung di dunia energi khususnya ekonomi energi. Oleh karena itu untuk mengejar cita-cita tersebut maka penulis menempuh jalan untuk melanjutkan studi di Jurusan Magister Energi, Fakultas Pascasarjana, Universitas Diponegoro. Penulis memilih melanjutkan studi di Universitas Diponegoro karena penulis menilai universitas tersebut berkualitas, masukan dari dosen pembimbing skripsi Dr. Nur Kusuma Dewi, M.Si juga memperkuat penilaian, dan pertimbangan lain adalah untuk biaya studi cukup terjangkau serta berbakti kepada orang tua di rumah.

## DAFTAR ISI

JUDUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
BIODATA PENULIS .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	7
1.3. Tujuan Penelitian .....	7
1.4. Manfaat Penelitian .....	8
1.5. Sasaran Penelitian .....	8
1.6. Pembatasan Masalah .....	9
1.7. Originalitas Penelitian .....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS .....	11
2.1. Tinjauan Pustaka .....	11
A. Potensi Sampah Plastik di Kota Semarang .....	11
B. Bahan Bakar dari Plastik .....	14
C. Pirolisis .....	22
D. Biaya Proses Produksi atau Biaya Produksi .....	24
2.2. Hipotesis .....	28
BAB III METODELOGI PENELITIAN .....	29



3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	29
3.2. Populasi dan Sampel .....	29
3.3. Variabel Penelitian .....	29
3.3.1. Analisis Kebutuhan Energi dan Bahan Bakar dari Plastik ....	29
3.3.2. Analisis Biaya Proses Produksi Bahan Bakar dari Plastik ....	30
3.4. Diagram Alur Penelitian .....	30
3.5. Instrumen Penelitian .....	31
3.5.1. Alat dan Bahan Penelitian .....	31
3.5.2. Prosedur Penelitian .....	33
a. Preparasi Larutan AgNO <sub>3</sub> 1M .....	33
b. Preparasi Larutan HCl 1M .....	33
c. Preparasi Larutan NaOH 2M .....	34
d. Preparasi katalis Zeolit Alam .....	34
e. Preparasi katalis Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan Pasir Silika .....	35
f. Proses Pirolisis .....	35
g. Respon Uji Hasil .....	35
h. Menghitung Kebutuhan Energi dan Biaya Proses Produksi .....	35
3.6. Metode Analisis Data .....	36
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Uji Pendahuluan Proses Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> .....	37
4.2. Uji Sesungguhnya Proses Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> .....	40
4.2.1. Pemilihan Jenis Katalis Dan Tipe Tutup Reaktor .....	40
4.2.2. Analisis Kebutuhan Energi Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> .....	42
a. Analisis Kebutuhan Energi Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Tanpa Katalis.....	42
b. Analisis Kebutuhan Energi Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Menggunakan Katalis Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Pasir Silika.....	43

c. Analisis Perbandingan Kebutuhan Energi Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Antara Tanpa Katalis Dengan Menggunakan Katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ +Pasir Silika .....	48
4.2.3. Analisis Banyaknya Produk yang Dihasilkan Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> .....	51
a. Analisis Banyaknya Produk Yang Dihasilkan Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Tanpa Katalis .....	51
b. Analisis Banyaknya Produk Yang Dihasilkan Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Menggunakan Katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ +Pasir Silika.....	53
c. Analisis Banyaknya Produk Yang Dihasilkan Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Antara Tanpa Katalis Dengan Menggunakan Katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ +Pasir Silika.....	53
d. Analisis Banyaknya Residu Yang Dihasilkan Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Antara Tanpa Katalis Dengan Menggunakan Katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ +Pasir Silika.....	55
4.2.4. Kajian Hasil Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis .....	56
a. Analisis Hasil Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Tanpa Katalis .....	56
b. Analisis Hasil Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Menggunakan Katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ +Pasir Silika.....	59
c. Analisis Perbandingan Hasil Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Antara tanpa Katalis Dan Menggunakan Katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ +Pasir Silika.....	61
4.2.5. Kajian Biaya Proses Produksi ( <i>Cost of Production Process</i> ) Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis.....	62
a. Kajian Biaya Proses Produksi ( <i>Cost of Production Process</i> ) Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Tanpa Katalis .....	63

b. Kajian Biaya Proses Produksi ( <i>Cost of Production Process</i> ) Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Menggunakan Katalis $Al_2O_3$ +Pasir Silika .....	66
4.2.6. Kajian Ekonomi <i>Benefit / Cost Ratio (B/C Ratio)</i> Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Skala Laboratorium .....	71
a. Kajian Ekonomi <i>Benefit / Cost Ratio</i> Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Skala Laboratorium Tanpa katalis .....	73
b. Kajian Ekonomi <i>Benefit / Cost Ratio</i> Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Skala Laboratorium Menggunakan Katalis $Al_2O_3$ + Pasir Silika .....	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1. Kesimpulan.....	76
5.2. Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA .....	78
LAMPIRAN.....	85

## DAFTAR TABEL

1. Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian Penulis .....	9
2. Tabel 2. Jumlah Produksi Total Sampah dan Sampah Plastik di Kota Semarang Tahun 2014-2015 (1 ton = 2,83m <sup>3</sup> ) .....	13
3. Tabel 3. Realisasi Penjualan BBM di Indonesia Tahun 2012-2016 .....	19
4. Tabel 4. Konsumsi BBM (kiloliter) Tiap Jenis Pembangkit Listrik di Indonesia Tahun 2011-2017 .....	20

## DAFTAR GAMBAR

1. Diagram Batang Prakiraan Permintaan BBM JBU (Jenis Bahan Bakar Umum) di Indonesia Tahun 2017-2018 .....	18
2. Diagram Alir Proses Penelitian.....	31
3. Rangkaian Alat Proses Pirolisis Plastik .....	31
4. Produk Proses Pirolisis Limbah <i>Polyethylene</i> Menggunakan Katalis Zeolit Alam Terkalsinasi.....	37
5. Bentuk Tutup Reaktor Yang Diuji Coba Peneliti (A) Tipe Flange (B) Tipe Ulir Tutup Botol.....	38
6. Tutup Reaktor Tipe Ulir Mampat .....	42
7. Diagram Batang Kebutuhan Energi Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Tanpa Katalis (*per 3 Kg dan ketelitian flowmeter gas 0,03 m <sup>3</sup> )	43
8. Diagram Batang Waktu Yang Dibutuhkan Dalam Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> (*per 3 Kg).....	43
9. Diagram Batang Kebutuhan Energi Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Menggunakan Katalis Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Pasir Silika (*per 3 Kg dan ketelitian flowmeter gas 0,03 m <sup>3</sup> ).....	45
10. Diagram Batang Waktu Yang Dibutuhkan Dalam Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Menggunakan Katalis Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Pasir Silika(*per 3 Kg) .	46
11. Diagram Batang Total Produk Cair Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Tanpa Katalis .....	52
12. Diagram Batang Total Produk Cair Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Menggunakan Katalis Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Pasir Silika.....	54
13. Diagram Batang Total Produk Cair Yang Dihasilkan Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Antara Tanpa Katalis Dengan Menggunakan Katalis Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Pasir Silika.....	55
14. Diagram Batang Hasil Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Tanpa Katalis .....	57
15. Diagram Batang Hasil Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Menggunakan Katalis Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Pasir Silika .....	60

16. Diagram Batang Perbandingan Hasil Produksi Bahan Bakar Dari Limbah Plastik <i>Polyethylene</i> Selama Proses Pirolisis Menggunakan Antara Tanpa Katalis Dan Menggunakan Katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ + Pasir Silika.....	62
---	----

## DAFTAR GRAFIK

1. Grafik Perbandingan Kebutuhan Energi Di Sektor Gas \*Ketelitian Flowmeter Gas 0,03 m<sup>3</sup> .....49
2. Grafik Perbandingan Kebutuhan Energi Di Sektor Listrik(\*kWh setiap 3 Kg)50
3. Grafik Perbandingan Kebutuhan Energi Dalam Konteks Lama Waktu Proses (\*Per 3 Kg) .....51
4. Grafik Perbandingan Banyaknya Residu Yang Dihasilkan Selama Proses Pirolisis Limbah Plastik *Polyethylene* Antara Tanpa Katalis Dengan Menggunakan Katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Pasir Silika .....56

## INTISARI

Penelitian ini membahas tentang analisis kebutuhan energi pada proses produksi bahan bakar dari limbah *polyethylene* dan biaya proses produksinya. Analisis kebutuhan energi diambil dari data konsumsi listrik dan konsumsi gas selama proses pirolisis dan biaya proses produksi diambil dari data biaya yang dikeluarkan selama proses penelitian dan pirolisis berlangsung. Produk yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan metode GC-MS dan perhitungan biaya proses produksi diolah dengan menggunakan software excel.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif menggunakan metode analisis GC-MS dan analisis kuantitatif dengan menggunakan software excel yang selanjutnya divalidasi dengan menggunakan *benchmark*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Kebutuhan energi total dalam satuan Btu selama proses pirolisis pada kelompok pengolahan limbah plastik *polyethylene* tanpa katalis sebesar **5.350,492 Btu/Kg** dan pada kelompok menggunakan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + Pasir Silika sebesar **3.915,282 Btu/Kg**. Biaya proses produksi (*cost of production process*) produksi bahan bakar dari limbah plastik *polyethylene* selama proses pirolisis tanpa katalis sebesar **Rp 9.707,00** per liter dan pada kelompok menggunakan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + Pasir Silika sebesar **Rp 9.647,00** per liter. Kelompok pengolahan limbah plastik *polyethylene* tanpa katalis rata-rata menghasilkan 3,276 Liter per 3 Kg atau **1,092 Liter/Kg** sedangkan kelompok menggunakan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + Pasir Silika rata-rata menghasilkan 3,506 Liter per 3 Kg atau **1,168 Liter/Kg**. Jenis produk yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa produk fraksi bensin ( $\text{C}_5\text{-C}_{12}$ ), fraksi diesel ( $\text{C}_{13}\text{-C}_{20}$ ), fraksi minyak berat ( $>\text{C}_{20}$ ), fraksi gas ( $\text{C}_1\text{-C}_4$ ), dan residu.

**Kata kunci:** Kebutuhan energi; Biaya proses produksi; Bahan bakar, *Polyethylene*, GC-MS. .



## ABSTRACT

This study discusses the analysis of energy requirements in the process of producing fuel from polyethylene waste and the cost of the production process. Analysis of energy requirements is taken from the data of electricity consumption and gas consumption during the pyrolysis process and the cost of production processes is taken from the data costs incurred during the research process and pyrolysis takes place. The resulting product was analyzed using the GC-MS method and the cost calculation of the production process was processed using excel software.

The research method used is qualitative and quantitative methods. Qualitative analysis uses GC-MS analysis methods and quantitative analysis using excel software and validation with benchmark.

The results of this study indicate that the total energy requirements in Btu during the pyrolysis process in the catalyst polyethylene plastic waste treatment group amounted to **5.350,492 Btu / Kg** and in the group using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Silica Sand catalysts of **3.915,282 Btu / Kg**. The cost of production process of fuel from polyethylene plastic waste during the non-catalyst pyrolysis process is **Rp 9.707,00 per liter** and in the group uses Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Silica Sand catalyst is **Rp 9.647,00 per liter**. The average non-catalyst polyethylene plastic waste treatment group produces 3,276 liters per 3 Kg or **1,092 Liter / Kg** while the group uses Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Silica Sand catalysts on average produces 3,506 Liters per 3 Kg or **1,168 Liters / Kg**. The type of product produced in this study is the product of gasoline fraction (C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>), diesel fraction (C<sub>13</sub>-C<sub>20</sub>), heavy oil fraction (> C<sub>20</sub>), gas fraction (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>), and residue.

**Keywords:** Energy requirements; Cost of production process; Fuel, Polyethylene, GC-MS.