

PENGARUH CAMPURAN SAMPAH PLASTIK DENGAN KATALIS ALAM TERHADAP HASIL PRODUK PYROLISIS

Nuryosuwito¹, Sudjito², Widya Wijayanti², Mega Nur Sasongko²

¹ Universitas Nusantara PGRI Kediri Jawa Timur.

Jl.KH. Achmad Dahlan No. 76, Mojoroto Kediri.

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang.

Jl.MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia.

Email : nuryosuwito@gmail.com

Abstract

Currently, various methods have been developed to overcome the problems caused by garbage. Pyrolysis is one method of waste processing which is considered to be prospective enough to be developed. It's because some advantages such as high conversion ratio and high energy content and potency as an alternative fuel in the future. Therefore, in this paper characteristics of pyrolysis will be studied. The waste materials used are catalyst and plastic waste. The resultant products of the pyrolysis process analyzed by Gas Chromatography / Mass Spectroscopy (GC / MS), while the thermal decomposition analysis was performed using Thermo Gravimetric Analysis (TGA). The results of pyrolysis process in isothermal conditions of a single component and a mixture of plastic waste and natural catalyst show that the final temperature of pyrolysis and the rate of heating affects to the distribution of pyrolysis products for all samples. As pyrolytic temperatures increase, liquid and gas products increase, while solid products tend to decrease. In the temperature range of 300°C, 400°C, 500°C, 600°C pyrolysis temperature with a heating rate of 100°C / min is the ideal temperature for obtaining the pyrolysis product of the liquid fraction and the maximum gas fraction for all waste types studied.

Keywords: Pyrolysis, Catalysts, Plastic waste, Pyrolysis products.

PENDAHULUAN

Permasalahan sampah menjadi semakin serius seiring dengan meningkatnya produksi sampah dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Bank Dunia, jumlah sampah padat di kota-kota dunia akan terus naik sebesar 70% tahun ini hingga tahun 2025, dari 1,3 miliar ton per tahun menjadi 2,2 miliar ton per tahun. Mayoritas kenaikan terjadi di kota-kota di negara berkembang. Di Indonesia, data Bank Dunia menyebutkan, produksi Sampah padat secara nasional mencapai 151.921 ton per hari. Hal ini berarti, setiap penduduk Indonesia membuang sampah padat rata-rata 0,85 kg per hari. Data yang sama juga menyebutkan, dari total sampah yang dihasilkan secara nasional, hanya 80% yang berhasil dikumpulkan, sisanya terbuang mencemari lingkungan [1]

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan

oleh sampah khususnya sampah jenis *rubbish* (sampah yang tidak dapat terurai oleh mikroorganisme). Proses pirolisis merupakan salah satu alternatif pengolahan sampah kota yang dipandang cukup prospektif untuk dikembangkan karena memiliki beberapa keuntungan di antaranya; memiliki rasio konversi yang tinggi, produknya memiliki kandungan energi yang tinggi, produk yang dihasilkan dapat ditingkatkan menjadi bahan dasar keperluan lain, serta pengontrolan proses yang lebih mudah bila dibandingkan dengan proses insinerasi [2]

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan proses pirolisis sampah jenis *rubbish* telah banyak dilakukan, hanya saja melibatkan kondisi operasi yang relatif terbatas sehingga variasi produk-produk hasil pirolisis yang diperoleh memiliki jangkauan yang terbatas. Hal ini tentu saja menyulitkan dalam melakukan optimasi proses pirolisis dan

karakterisasi produk hasil pirolisis sebagai bahan bakar alternatif karena keterbatasan data-data hasil pirolisis. Di samping itu, penelitian pirolisis campuran

Pirolisis adalah proses dekomposisi bahan organik dan polimer dengan memanaskan bahan tersebut tanpa oksigen untuk menghasilkan produk-produk dengan berat molekul yang lebih rendah[3]. Pada proses pirolisis akan terjadi proses pengeringan yaitu menguapnya kadar air (*moisture content*) dan *devolatilisasi* yaitu zat yang mudah menguap (*volatile matter*) ke luar dari dalam bahan. Produk utama dari pirolisis adalah residu karbon (*char*), minyak pirolisis (*pyrolytic oil*) atau tar dan gas (*pyro-gas*). Proses pirolisis ini dimulai temperatur sekitar 250 °C dan berakhir pada temperatur 550°C. Kehadiran katalis pada proses ini akan menghasilkan minyak ringan (*lights oil*) dengan peningkatan yang drastis dalam konsentrasi rantai aromatik tunggal [4].

Tabel 1. Nilai kalor plastik dan bahan lainnya.

Material	Nilai Kalor (MJ/kg)
Polyethylene	46,3
Polypropylene	46,4
Polyvinyl chloride	18,0
Polystyrene	41,4
Coal	24,3
Petrol	44,0
Diesel	43,0
Heavy fuel oil	41,1
Light fuel oil	41,9
LPG	46,1
Kerosene	43,4

Pengolahan sampah plastik mempunyai prospek yang baik sebagai bahan bakar karena bahan plastik mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi (tabel 1). Penelitian awal tentang dekomposisi pada pyrolysis meneliti tentang efek dari laju pemanasan, temperatur dan waktu [5]. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa 95% selulosa terdekomposisi pada temperatur antara 500°C dan 750°C laju pemanasannya adalah 1000°C/s. Setelah 750°C, hasil dari char menurun. Juga diketahui bahwa hasil dari tar yang terjadi sebesar 83% pada suhu 400°C dan menurun menjadi 49% pada suhu 1000°C. Ini dikarenakan adanya reaksi tar sekunder yang terjadi pada

sampah plastik dan ban bekas masih jarang dilakukan sehingga ketersediaan literturnya masih sangat terbatas.

temperatur yang lebih tinggi. Diatas suhu 750°C hasil dari char menurun dari 6% menjadi 3%. Ketika terjadi kenaikan temperatur di atas 900°C hasil dari char kembali naik menjadi 4% Yang mengindikasikan pada temperatur di atas 900°C reaksi repolimerisasi terjadi dan menghasilkan kenaikan pada char. Hasil dari pemecahan selulosa pada 300-600°C kebanyakan menghasilkan senyawa *oxygenated* seperti *acetaldehyde*. Seiring dengan kenaikan temperatur yang melebihi 600°C menghasilkan gas hidrokarbon yang meningkat, hal ini mengindikasikan adanya reaksi tar sekunder. Kemudian seiring kenaikan waktu tinggal padatan, jumlah tar yang dihasilkan meningkat sampai dengan suhu 800°C[6].

Lebih dari temperatur ini waktu tinggal padatan tidak memiliki pengaruh yang berarti. Sampai dengan temperatur 750°C dan waktu tinggal yang pendek, meningkatkan laju pemanasan akan menurunkan tar yang dihasilkan, karena pada laju pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal yang pendek akan menyebabkan devolatilisasi tidak terjadi sempurna dan produk tar yang dihasilkan akan terurai cepat ketika mereka terbentuk. [7]. Sebuah penelitian terdahulu melakukan penelitian dengan laju pemanasan antara 5°C/min dan 80°C/min dengan temperatur 300°C dan 750°C. Diteliti bahwa ketika laju pemanasan bertambah maka hasil dari char akan menurun. Gas utama yang dihasilkan pada temperatur antara 200°C dan 400°C adalah CO dan CO₂ namun pada temperatur yang lebih tinggi konsentrasi yang rendah dari gas hidrokarbon juga ditemukan. Ketika laju pemanasan dinaikan jumlah dari gas seperti CO, CO₂, CH₄ dan lainnya meningkat[8].

Pyrolysis bahan plastik polyethylene dengan variasi temperatur operasi antara 450-500 °C, serta variasi massa dan jenis katalis *Zeolite Y* dan *Natural Zeolite*. Selain itu variasi juga dilakukan dengan pencampuran bahan PE tersebut dengan jenis *Polystyrene*, *Polypropylene*, *Polyethylene Terephthalate*, dan Other. Karakteristik char diketahui melalui proximate test meliputi *moisture content*, *ash*,

volatile matter, dan *fixed carbon*, nilai kalor diuji melalui *bomb calorimeter*. Kualitas pembakaran diuji dalam furnace dengan temperatur dinding $\pm 230^{\circ}\text{C}$ dan aliran udara konstan 0,7 m/s, serta diukur kadar emisinya. Permasalahannya adalah dalam aplikasi diketahui bahwa pembakaran briket tidak optimal, ditandai periode pemanasan yang lama, serta kadar CO yang bervariasi. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya optimasi kualitas pembakaran yang akan dianalisis melalui pengujian *ultimate* dan efek porositas. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi *pyrolysis* mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi *pyrolysis* yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda.

Fakto-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis

1. Waktu

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena semakin lama waktu proses *pyrolysis* berlangsung, produk yang dihasilkan (residu padat, tar, dan gas) makin naik. Kenaikan itu sebatas sampai dengan waktu tak hingga (τ) yaitu waktu yang diperlukan sampai dengan hasil padatan residu, tar, dan gas mencapai konstan. Nilai τ dihitung sejak proses isothermal berlangsung. Tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar), menjadi karbondioksida dan abu. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangatlah penting. Dengan mengambil anggapan bahwa reaksi dekomposisi berlangsung secara progresif atau seragam pada seluruh partikel, maka persamaan kecepatan reaksi yang dinyatakan dalam fraksi massa per satuan waktu adalah $dw/dt = -k (w - w_{\infty})^n$ (1)

dimana :

w = fraksi massa sampah, yang dinyatakan dengan $w = m_t / m_{t_0}$

w_{∞} = fraksi residu padat pada saat $t = \infty$, yang dinyatakan dengan

$w_{\infty} = m_{\infty} / m_{t_0}$

m_{t_0} = massa umpan saat awal pada suhu isothermal (gr)

m_t = massa residu padat setiap saat (gr)

m_{∞} = massa residu padat saat $t = \infty$ pada suhu isothermal (gr)

n = orde reaksi

k = konstante laju dekomposisi termal.

Pada saat (t), fraksi *volatile matter* yang terdekomposisi mencapai (x_s), oleh Lilledahl dan Sjostrom (1994) didefinisikan sebagai *devolatilization degree* yang nilainya adalah :

$$x_s = [m_{t_0} - m_t] / [m_{t_0} - m_{\infty}] \quad (2)$$

2. Temperatur

Temperatur sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, semakin tinggi temperatur, nilai konstanta dekomposisi termal makin besar. Akibatnya laju *pyrolysis* bertambah dan konversi naik. Pada proses *pyrolysis* suhu rendah (<700) dimulai pada suhu antara $225-275^{\circ}\text{C}$ [9]. Untuk itu, variasi percobaan agar reaksi *pyrolysis* benar - benar telah terjadi maka diambil kisaran suhu yang perlu dipelajari, yaitu $300-500^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan teorema Arrhenius hubungan konstanta persamaan reaksi dengan suhu absolut, adalah:

$$k = k_0 \cdot e^{-(E/RT)} \quad (3)$$

Dengan,

k = Konstanta kecepatan reaksi dekomposisi termal

k_0 = Faktor tumbukan (faktor frekuensi)

E = Energi aktivasi (kal/gr.mol)

T = Suhu absolut ($^{\circ}\text{K}$)

R = Tetapan gas (1,987 kal/gr.mol $^{\circ}\text{K}$)

maka persamaan (1) dapat dinyatakan dengan

$$dw/dt = -k_0 e^{-E/RT} (w - w_{\infty})^n \quad (4)$$

jika kecepatan reaksi (4) mengikuti persamaan reaksi orde satu, maka

$$dw/dt = -k_0 e^{-E/RT} (w - w_{\infty}) \quad (5)$$

Pada proses isothermal integrasi persamaan (5) dengan keadaan batas antara $t = t_1$ sampai dengan $t = t_2$, diperoleh

$$\ln (w_1 - w_{\infty}) - \ln (w_2 - w_{\infty}) = k_0 e^{-E/RT} (t_2 - t_1) \quad (6)$$

Dengan mengartikan kecepatan reaksi sama dengan, kecepatan massa pembentukan hasil

(g/menit) per total massa yang dapat terdevolatilisasi (m_T), maka diperoleh :

$$r_h = \left[\frac{1}{m_{to} - m_{\infty}} \right] \frac{dm_h}{dt}$$

$$r_h = k_h \frac{m_h - m_{h\infty}}{m_{to} - m_{\infty}}$$

$$\left[\frac{1}{m_{to} - m_{\infty}} \right] \frac{dm_h}{dt} = k_h \frac{m_h - m_{h\infty}}{m_{to} - m_{\infty}} \quad (7)$$

Dengan,

- r_h = kecepatan reaksi pembentukan hasil
- k_h = konstanta kecepatan pembentukan hasil
- m_T = total massa yang dapat terdevolatilisasi pada suhu isothermal ($m_{to} - m_t$)
- m_h = massa hasil pada setiap saat

- m_{h0} = massa hasil pada saat $t = 0$
- $m_{h\infty}$ = massa hasil saat $t = \tau$ pada suhu isothermal

Penyelesaian persamaan (7) akan diperoleh :

$$\ln(m_{h\infty} - m_h) = \ln(m_{h\infty} - m_{h0}) - k_h \cdot t \quad (8)$$

Penerapan persamaan (8) jika digunakan untuk menentukan konstanta laju pembentukan tar (*pyrolytic oil*) dapat dituliskan :

$$\ln(m_{v\infty} - m_v) = \ln(m_{v\infty} - m_{v0}) - k_v \cdot t$$

Dengan,

- k_h = konstanta laju reaksi pembentukan tar
- m_v = massa hasil tar pada setiap saat $t = t$
- m_{v0} = massa hasil tar pada saat $t = 0$
- $m_{v\infty}$ = massa hasil tar pada saat $t = \tau$

Tabel 2. Jenis plastik, kode dan penggunaannya

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	PET (polyethylene terephthalate)	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2	HDPE (High-density Polyethylene)	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4	LDPE (Low-density Polyethylene)	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5	PP (Polypropylene atau Polypropene)	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6	PS (Polystyrene)	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
7	Other (O), jenis plastik lainnya selainminum, dari no.1 hingga 6	suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego



Gambar 1. Nomor kode plastik

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermo plastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya (lihat Tabel 2 dan Gambar 1). Selain itu data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik (Tabel 3) dibutuhkan untuk menentukan parameter temperatur yang tepat saat proses pyrolysis.

Tabel 3. Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik

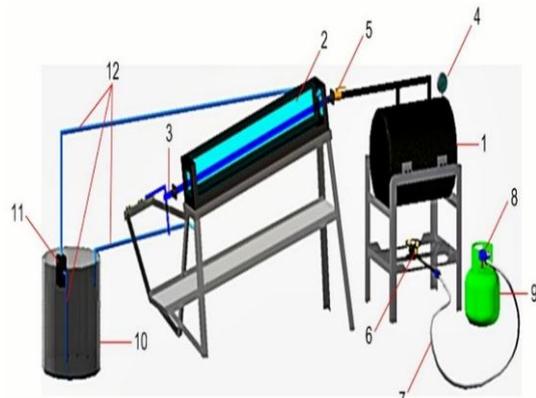
Jenis Bahan	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur kerja maks. (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	Jenis
PA	260	50	PP
PET	250	70	HDPE
ABS		110	LDPE
PS		90	PA
PMMA		100	PET
PC		150	ABS
PVC		90	PS

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengoptimasi proses pirolisis campuran katalis dan sampah plastik dalam berbagai variasi campuran dan kondisi operasi. Optimasi dilakukan untuk mengetahui produk-produk hasil pirolisis, khususnya yang berbentuk cair dan gas yang dapat memenuhi persyaratan teknis sebagai bahan bakar alternatif yang telah ditetapkan. Pada penelitian selanjutnya akan dilakukan uji kemampuan produk-produk hasil pirolisis yang dapat memenuhi persyaratan teknis sebagai bahan bakar alternatif yang telah ditetapkan tersebut, yang meliputi uji pembakaran secara atmosferik dan pembakaran bertekanan di dalam silinder motor bakar.

Instalasi Peralatan Pengujian

Instalasi peralatan pengujian disusun seperti tampak pada gambar 4. Instalasi peralatan pengujian ini diadopsi dari penelitian terdahulu [10], yang terdiri dari atas tungku pemanas yang dilengkapi dengan *thermocontroller* dengan pembacaan temperatur sampai dengan 1000 °C. Reaktor untuk proses pyrolysis berdiameter 96 mm tinggi 500 mm yang diletakkan pada sebuah *furnace* yang berdiameter dalam 104 mm dengan tinggi 490 mm dan dililiti elemen pemanas dengan panjang bentangan 12 meter au setinggi 15 cm dari dasar *furnace*. Pada bagian atas tabung reaktor terdapat saluran untuk mengalirkan gas hasil pyrolysis ke sistem pendingin. Pengurangan massa sampel yang terjadi selama proses pyrolysis, dilakukan dengan membuat lobang berdiameter 5 mm untuk peletakan kawat untuk menggantungkan tempat peletakan sampel ke timbangan digital. Tempat peletakan sampel berupa silinder berdiameter 8 cm dan tinggi 16 cm yang terbuat dari kawat strimin.



Gambar 4. Instalasi Peralatan Pengujian

Keterangan gambar :

1. (*furnace*)
 2. Condenser.
 3. Output pirolisis
 4. Manometer
 5. *Valve*
 6. Gas stove
 7. Selang gas
 8. Regulator
 9. Tabung
 10. Water reservoir
 11. Cooling water pump (Condenser.)
 12. Cooling pipe
- Installation drawing equipment

Pada gambar Instalasi Peralatan Pengujian di atas terdapat pipa saluran dan pipa tersebut akan dilalui zat cair hasil *pyrolysis*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *pyrolysis* sampel sampah campuran katalis dan sampah plastik pada berbagai laju pemanasan dapat dilihat pada tabel 5, tabel 6, dan tabel 7.

Tabel 5. Campuran 10 % katalis dan 50 PL

Temperatur Pirolisis (°C)	Campuran 10% katalis dan 50% PL		
	Laju pemanasan 10°C/menit		
	Char (%)	Tar (%)	Gas (%)
400	16,8	44,6	36,9
500	13,5	45,4	39,7
600	12,2	46,8	40,6

Tabel 6. Campuran 10 % katalis dan 50 PL

Temperatur Pirolisis (°C)	Campuran 10% katalis dan 50% PL		
	Laju pemanasan 15°C/menit		
	Char (%)	Tar (%)	Gas (%)
400	17,2	44,8	35,7
500	14,3	45,2	38,6
600	12,5	46,6	40,3

Tabel 7. Campuran 10 % katalis dan 50 PL

Temperatur Pirolisis (°C)	Campuran 10% katalis dan 50% PL		
	Laju pemanasan 20°C/menit		
	Char (%)	Tar (%)	Gas (%)
400	18,6	45,7	34,6
500	14,8	46,4	37,4
600	11,2	47,8	39,7

Dalam penelitian ini, campuran yang digunakan tetap yakni 10% katalis dan 50 % plastik. Sedangkan variasi yang diberikan berupa temperatur pirolisis dan laju pemanasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur pirolisis

menyebabkan penurunan persentase Char, dan peningkatan persentase Tar dan Gas. Sedangkan peningkatan laju pemanasan menyebabkan produk berupa Char dan Tar meningkat, sedangkan Gas mengalami penurunan.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut; Produk *pyrolysis* fraksi cair maksimum diperoleh pada campuran 10% Plastik dan 50 % katalis pada temperatur 600°C laju pemanasan 20°C/menit, sementara produk *pyrolysis* fraksi gas diperoleh pada campuran 20% katalis dan 50% sampah plastik pada temperatur 600°C laju pemanasan 20°C/menit.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Borsodi, N., Miskolczi, N., Angyal, A., Bartha, L., Kohán, J., dan Lengyel, A., 2011, *Hydrocarbons obtained by pyrolysis of contaminated waste plastics*, 45 th International Petroleum Conference, Bratislava, Slovak Republic.

[2] Casson, A. *The Hesitant Boom: Indonesia's Oil Palm Sub-Sector in an Era of Economic Crisis and Political Change*, Occasional Paper No.29, June 2000, Center for International Forestry Research

[3] Das, S. dan Pande, S., 2007, *Pyrolysis and Catalytic Cracking of Municipal Plastic Waste for Recovery of Gasoline Range Hydrocarbons*, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela

[4] H. Park, et al., "Pyrolysis Characteristics of Oriental White Oak: Kinetic Study and Fast Pyrolysis in a Fluidized Bed with an Improved Reaction System," *Fuel Processing Technology*, Vol.90, No. 2, 2009, pp.186-195.

[5] J. Yang, R. Miranda, and C. Roy. "Using the DTG curve fitting method to determine the apparent kinetic parameters of thermal decomposition of polymers". *Polymer Degradation and Stability*, vol 73, pp.455-461, 2001.

- [6] Jones, D.L et all; Biochar-Mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biol. Biochem.* **2012**, *45* 113–124.
- [7] Jones, S.B. et all. *Production of Gasoline and Diesel from Biomass via Fast Pyrolysis, Hydrotreating and Hydrocracking: A Design Case*; Report No. PNNL-18284; U.S. Department of Energy: Springfield, VA, USA, Jurnal Hasil Penelitian Kimia dan Teknologi, ISSN 0216-163X, Vol 1, USB, Solo
- [8] K.Panda, R.K.Singhand D.K. Mishra. "Thermolysis of waste plastics to liquid fuel suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products-A world prospective". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol.14, pp.233-248, 2010.
- [9] Panda, A.K., 2011, *Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics*, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela.
- [10] Sarker, M., Rashid, M.M., Rahman, M.S., dan Molla, M., 2012, *Environmentally Harmful Low Density Waste Plastic Conversion into Kerosene Grade Fuel*, Journal of Environmental Protection, 2012, 3, 700 – 708.
- [11] Tamilkolundu, S. And Murugesan, C., 2012, *The Evaluation of blend of Waste Plastic Oil-Diesel fuel for use as alternate fuel for transportation*, 2nd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2012) Singapore April 28-29, 2012
- [12] Wahyudi, I., 2001. Pemanfaatan Blotong Menjadi Bahan Bakar Cair Dan Arang Dengan Proses Pirolisis. Jurusan Teknik Lingkungan FT SP UP "Veteran" Jatim