

## PENGOLAHAN SAMPAH PLASTIK JENIS PET(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) MENGUNAKAN METODE PIROLISIS MENJADI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

\*Mahendra Aji Wicaksono<sup>1</sup>, Arijanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*Email: mahendraajiwicaksono@gmail.com

### Abstrak

Penelitian ini dimaksudkan untuk mendisain reaktor pirolisis, dan mengamati pengaruh temperature dan waktu tinggal terhadap kualitas produk pirolisis. Penelitian ini dilakukan juga untuk mengetahui berapa banyak produk minyak yang dihasilkan. Pada penelitian ini digunakan dua jenis aliran pada kondensor yaitu *counter flow* dan *parallel flow* dan menggunakan jenis plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yaitu dalam penggunaannya dapat ditemui dalam berbagai jenis botol plastik air mineral kemasan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor menggunakan plat besi dengan ketebalan sisi 3 mm dan ketebalan dasar 6 mm. Kondensor yang digunakan berbentuk silinder dengan ketebalan 1 mm pada bagian luar dan 2 mm pada bagian dalam. Pirolisis dilangsungkan pada temperatur 200-400 derajat C dan waktu reaksi selama 2700 detik. Dari semua variabel yang dipelajari suhu memberi pengaruh yang paling nyata. Konstante kecepatan reaksi dipengaruhi oleh suhu sesuai dengan persamaan Arrhenious. Dimana ada energi yang harus dilampaui agar reaksi kimia dapat terjadi.

**Kata kunci:** Pirolisis, *Poyehilene Terephthalate*, Destilasi, Suhu, Kondensor

### Abstract

*This experiment aimed to design the pyrolysis reactor, and observe the effect of temperature and residence time on the quality of the products of pyrolysis. This research is also done to determine how much of the oil products produced. In this study used two jenis flow on the condenser is counter flow and parallel flow and use any type of plastic PET (Polyethylene Terephthalate) that is in use can be found in many types of plastic bottles of mineral water packaging. The study was conducted using a reactor using iron plate with a thickness of 3 mm and a thickness of the base 6 mm. Condenser used is a cylinder with a thickness of 1 mm on the outside and 2 mm on the inside. Pyrolysis carried out at a temperature of 200-400 degrees C and reaction time of 2700 seconds. Of all the variables studied temperature influences the most obvious. Konstante reaction speed is influenced by the temperature according to the equation Arrhenious. Where there is energy that must be exceeded in order that chemical reactions can occur.*

**Keywords:** *Pyrolysis, Poyehilene Terephthalate, Destillation, Temperature, Condensor*

### 1. Pendahuluan

Peningkatan kuantitas sampah kota merupakan konsekuensi logis dari perkembangan kota. Peningkatan penggunaan plastik untuk keperluan rumah tangga berdampak pada peningkatan timbunan sampah plastik. Indonesia menjadi nomor dua penyumbang sampah plastik dunia yang mengotori seluruh samudra. Setiap tahunnya indonesai menyumbang sekitar 1.29 juta metric ton. Data itu dibawah Republik Rakyat Tiongkok yang menyumbang sekitar 3.53 juta metric ton per tahunnya. Padahal pada kenyataannya sampah botol plastik PET baru akan terurai sekitar 450 tahun. Bisa dibayangkan berapa sampah plastik yang akan bertambah setiap tahunnya jika tidak dilakukan pencegahan dini. Sampah plastik yang tidak terpungut oleh pemulung, penanganannya tidak bisa dilakukan dengan metode landfill atau open dump. Pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*), kurang efektif dan beresiko sebab dengan pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub>) dan beberapa partikulat pencemar lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik.

Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih menjanjikan dan berprospek ke depan. Salah satunya mengonversi sampah plastik menjadi minyak. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan. Perlu dicari data-data kinetika pirolisis dan penentuan kondisi operasi yang sesuai. Data-data itu berguna untuk rancang bangun reaktor pirolisis [1].

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>), tar (pyrolytic oil), dan arang. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda [2]. Selain itu, plastik merupakan polimer yang berat molekulnya tidak bisa ditentukan, ataupun dihitung. Karena itu, kecepatan reaksi dekomposisi didasarkan pada perubahan massa atau fraksi massa per satuan waktu. Produk pirolisis selain dipengaruhi oleh suhu dan waktu, juga oleh laju pemanasan. [3]. Perengkahan sampah plastik jenis polipropilena dari kemasan air mineral dalam reaktor pirolisis terbuat dari *stainless steel*, dilakukan pada temperatur 475C dengan dialiri gas nitrogen (100 mL/menit).

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) makin naik. [3] Kenaikan itu sampai dengan waktu tak hingga yaitu waktu yang diperlukan sampai hasil padatan ,residu dan tar mencapai konstan . Nilai waktu tak hingga ini dihitung dari sejak proses isothermal berlangsung ,tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar) menjadi karbondioksida dan abu [4].

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius yaitu  $k = A \exp(-R/T)$ . Suhu makin tinggi, nilai konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik tetapi disamping itu untuk menentukan suhu yang tepat dapat melihat dari titik leleh/titik didih dari bahan baku yang akan digunakan

Pada jurnal ilmiah teknik lingkungan UPN Veteran Jawa Timur yang dilakukan Aprian Ramadhan P. dan Munawar Ali melaksanakan penelitian pada rentang suhu 200-420<sup>0</sup> C menyatakan bahwa semakin tinggi suhu proses, maka massa yang ada didalam reactor akan semakin turun.[4]. Dengan bertambah tingginya suhu pemanasan maka zat-zat yang terkandung dalam plastik akan terurai dengan sempurna. Zat-zat tersebut akan terurai menjadi gas dan cair (minyak).

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil. Semakin besar ukuran partikel luas permukaan per satuan berat semakin kecil,sehingga proses akan menjadi lambat. Semakin banyak bahan yang dimasukkan menyebabkan hasil bahan bakar cair(tar) dan arang meningkat. Karakteristik setiap jenis plastik berbeda satu sama lain sehingga sangat berpengaruh terhadap komposisi produk cair yang akan dihasilkan.

Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (5-7 K/menit). Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan. Proses ini disebut Pirolisis lambat (*Slow Pyrolysis*) Pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,5-2 detik, suhu 400-600°C dan proses pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis yang hingga 75 % lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional.

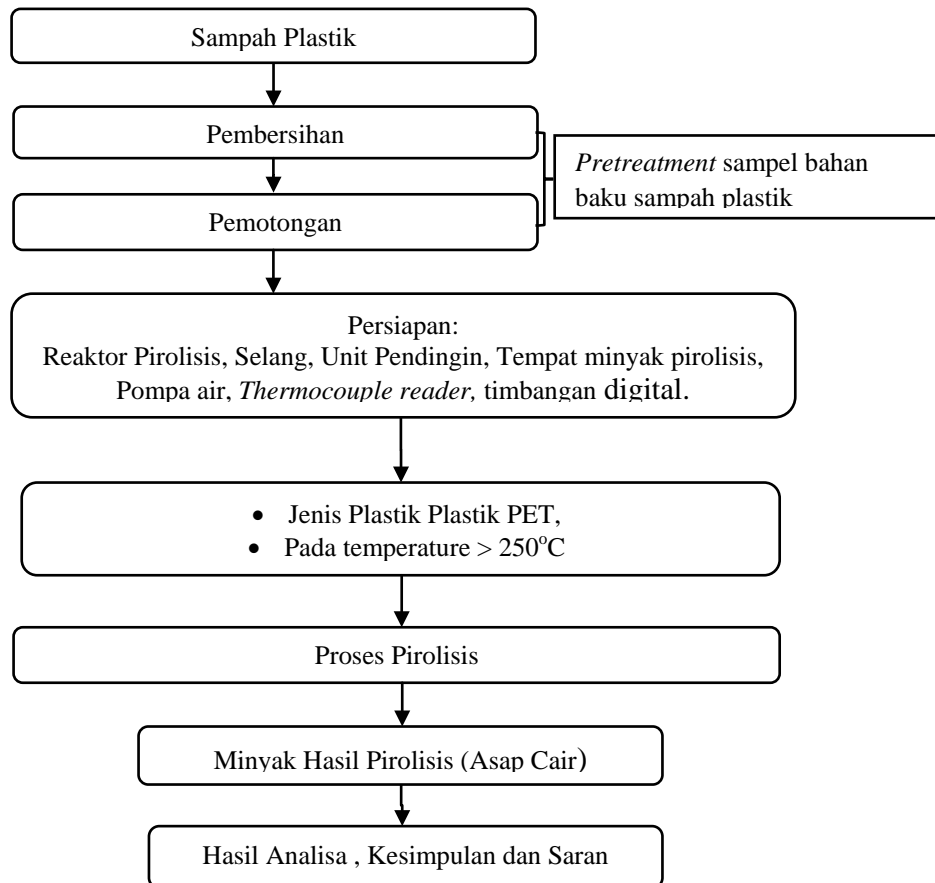
Pirolisis Kilat (*Flash Pyrolysis*). Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. *Flash pyrolysis* pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 -250 µm. Pirolisis katalitik biomassa untuk membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Minyak tersebut diperoleh dengan cara pirolisis katalitik biomassa tidak memerlukan teknik pra-pengolahan sampel yang mahal yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali. Adapun tujuan pada penelitian ini adalah untuk Merancang dan membuat alat pengkonversi sampah plastik jenis PET dan Mengetahui faktor dan kondisi yang berpengaruh pada proses konversi plastik PET menjadi bahan bakar alternative

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan didalam penelitian ini adalah sampah plastik *Polyethylene Terephthalate* yang sudah tidak dipungut oleh pemulung. Sebelum dipergunakan, sampah plastik dijemur terlebih dahulu pada panas matahari. Selanjutnya dipilah dari pengotor tanah lalu dipotong-potong dalam ukuran tertentu dan ditimbang.

### 2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan yang disajikan pada diagram alir berikut. Proses dalam persiapan pengujian supaya hasil yang didapatkan lebih optimal yang akan dilakukan dicantumkan dalam diagram alir dibawah ini. Sebelum dipergunakan, sampah plastik dijemur terlebih dahulu pada panas matahari. Selanjutnya dipilah dari pengotor tanah lalu dipotong-potong dalam ukuran tertentu dan ditimbang Tahap pengujian dilakukan setelah proses pembuatan alat pengolah sampah. Tahap ini untuk menentukan apakah pembuatan alat pengolah sampah sudah sesuai apa belum dengan hasil yang direncanakan. Jika hasil belum sesuai rencana maka perlu diadakan pengecekan ulang komponen. Proses pengambilan data merupakan tahap yang sangat penting dalam penelitian ini. Kesesuaian kinerja alat dengan data hasil penelitian merupakan kriteria utama dalam penelitian ini. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan beberapa kali variasi pengujian. Variasi pengujian dilakukan untuk mengetahui minyak dari hasil pembakaran sampah plastik yang telah dilakukan Sebelum diulai proses pengambilan data dibawah ini adalah diagram alir pada proses pengambilan data :



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Sampah Plastik

## 2.2. Pengujian Alat Pengolah Sampah Plastik

Tahap pengujian dilakukan setelah proses pembuatan alat pengolah sampah. Tahap ini untuk menentukan apakah pembuatan alat pengolah sampah sudah sesuai apa belum dengan hasil yang direncanakan. Jika hasil belum sesuai rencana maka perlu diadakan pengecekan ulang komponen. Tapi jika alat sudah sesuai rencana, maka dapat langsung digunakan untuk proses pengambilan data. Proses pengambilan data merupakan tahap yang sangat penting dalam penelitian ini. Kesesuaian kinerja alat dengan data hasil penelitian merupakan kriteria utama dalam penelitian ini. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan beberapa kali variasi pengujian. Variasi pengujian dilakukan untuk mengetahui minyak dari hasil pembakaran sampah plastik yang telah dilakukan. Susunan skema pada percobaan dibawah ini menggunakan pendinginan *counter flow* dimana pendinginan dilakukan

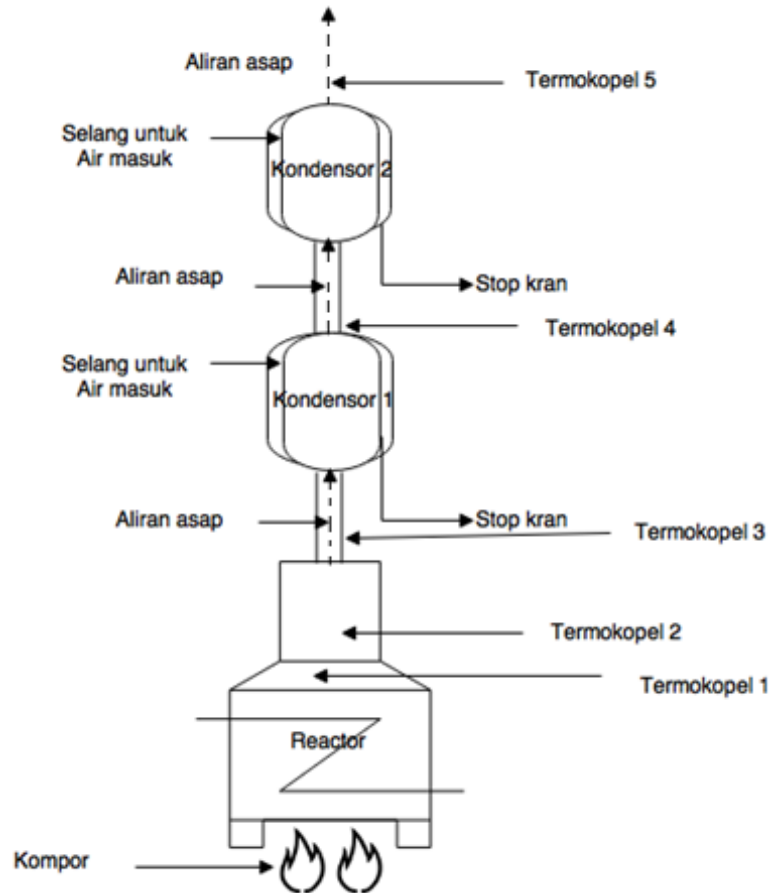
## 3. Hasil dan Pembahasan

Sampah plastik yang telah dikeringkan dan dipilah dari zat pengotor, dipotong dengan ukuran rerata 1-2 cm<sup>2</sup>. Kemudian ditimbang dengan berat awal ( $m_0$ ) 2000 gram. Masukkan sampah plastik kering seberat 2000 gram ke dalam reaktor. Kemudian nyalakan kompor ditunggu sesuai suhu yang akan dipelajari. Lalu kompor dimatikan pada 2700 detik, kemudian ketika *oil* sudah mulai keluar melalui kondensor lalu diamati hasilnya. Tabel dibawah adalah hasil pengujian yang telah dilakukan dengan parameter diatas. Tabel dibawah menjelaskan tentang pengujian yang dilakukan. Proses dalam persiapan pengujian supaya hasil yang didapatkan lebih optimal yang akan dilakukan dicantumkan dalam diagram alir dibawah ini. Sebelum dipergunakan, sampah plastik dijemur terlebih dahulu pada panas matahari. Selanjutnya dipilah dari pengotor tanah lalu dipotong-potong dalam ukuran tertentu dan ditimbang

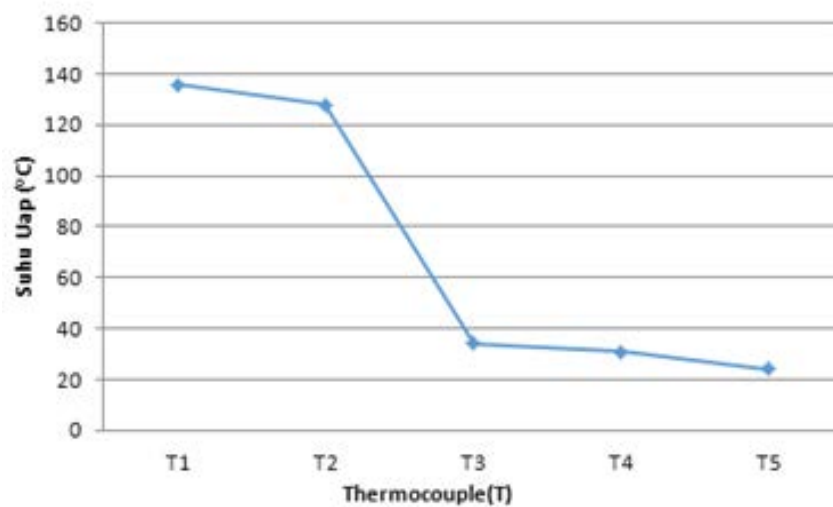
Tabel 1. Pengujian 1 *Parallel Flow*

Suhu reaktor	SUHU UAP		W (GAS)		V <i>oil</i>		Berat PET	Lama Waktu Pembakaran
398°C	T1	136°C	W0	23.41Kg	Condensor 1	190 MI	2 Kg	2700 s
	T2	128°C						

	T3	34°C	WT	23.31 Kg	Condensor 2	50 MI		
	T4	31°C						
	T5	24°C	ΔW	0.1 Kg	Total	240 MI		



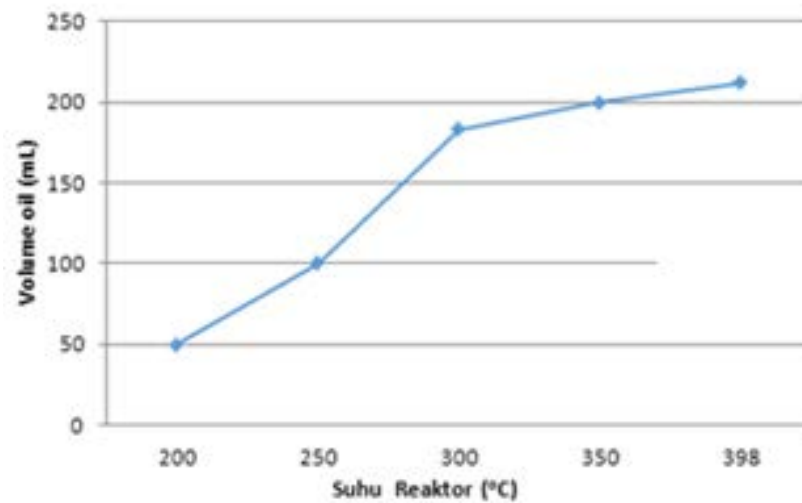
Gambar 2. Rangkaian alat percobaan



Gambar 3. Grafik penurunan suhu uap pada saat pengujian

Dapat dilihat penurunan suhu dari asap setelah dikondensasi, T pada grafik menunjukkan pengukuran suhu *thermocouple* dimana dan nomor dibelakangnya menunjukkan urutan dari *thermocouple* tersebut. T1 adalah *thermocouple* yang dipasang pada bagian bawah kondensor menunjukkan suhu uap sebelum memasuki kondensor. T2

menunjukkan suhu asap sebelum di kondensasi, setelah dikondensasi di kondensor 1 suhu menurun menjadi 34°C, lalu pada T4 suhu menurun lagi diakibatkan dinginya pipa dibawah kondensor 2. Kemudian pada T5 uap didinginkan kembali di kondensor 2 yang berakibat turunya suhu. Dibawah ini adalah perbandingan suhu dengan *volume oil* yang dihasilkan :



**Gambar 4.** Grafik perbandingan suhu dengan *volume oil* pada pengujian pertama *parallel flow*

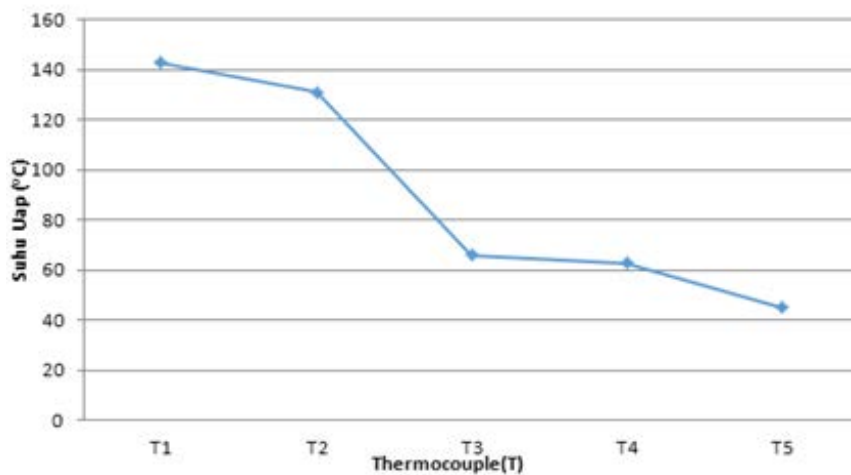
Dari gambar dapat dilihat hasil perbandingan volume pirolisis dari jenis sampah plastik PET (*Poliethylen Terephthalane*) menggunakan botol aqua bekas . Hal ini disebabkan karena plastik PET memiliki titik didih tertinggi dibandingkan bahan lain sehingga tidak terjadinya reaksi sekunder dari proses pirolisis yang dilakukan terhadap plastik PET ini. Pada pengujian ini menggunakan kondensasi *parallel flow*. Percobaan pertama ini kurang efektif karena pada saat waktu pengujian bersamaan dengan turunya hujan mengakibatkan suhu pada reaktor tidak bisa maksimal yang berakibat langsung pada *oil* yang dihasilkan.

Reaksi sekunder yang dimaksudkan di sini adalah reaksi berkelanjutan dari reaksi perengkahan utama yang menjadikan perengkahan dari karbon-karbon yang terdapat dalam bahan baku menjadi lebih sempurna atau berkelanjutan sehingga menghasilkan rantai karbon yang lebih kecil dari yang seharusnya . Rantai karbon yang lebih kecil seperti  $C_1$  ,  $C_2$  dan  $C_3$  , dalam suhu ruangan dan dengan pendingin yang hanya menggunakan air tidak dapat diembunkan untuk menjadikan hasil cair sehingga mengakibatkan komponen rantai karbon kecil ini tetap dalam keadaan gas dan menyebar ke udara sekitar sehingga menghasilkan bau yang kurang sedap.

Dari grafik diatas dapat dilihat hasil perbandingan volume pirolisis dari jenis sampah plastik PET (*Poliethylen Terephthalane*) menggunakan botol aqua bekas. Hal ini disebabkan karena plastik PET memiliki titik didih tertinggi dibandingkan bahan plastik lain sehingga tidak terjadinya reaksi sekunder dari proses pirolisis yang dilakukan terhadap plastik jenis PET ini. Pada pengujian ini menggunakan kondensasi *parallel flow*. Percobaan kedua ini lebih efektif karena pada saat waktu pengujian tidak turun hujan yang mengakibatkan suhu pada ruang bakar bisa maksimal yang berakibat langsung pada *oil* yang dihasilkan. *Oil* yang dihasilkan pada waktu pengujian ini adalah yang paling banyak dibandingkan dengan pengujian yang lain. Pada saat 200°C volume *oil* yang dihasilkan adalah 50 mL, kemudian pada saat suhu 250°C *oil* yang dihasilkan adalah 100 mL ini menunjukkan kenaikan volume *oil* sebesar 50 mL. Kenaikkan yang signifikan ditunjukkan pada kenaikan suhu antara 250°C - 300°C kenaikan volume *oil* terjadi sangat cepat disuhu itu kenaikannya adalah 83 mL. Dimana volume *oil* mula mula adalah 100 mL naik menjadi 183 mL. Kemudian pada suhu 300°C terjadi kenaikan sebesar 17 mL lalu disuhu akhir yaitu 400°C volume kembali naik tapi sedikit sekali yaitu hanya 12 mL.

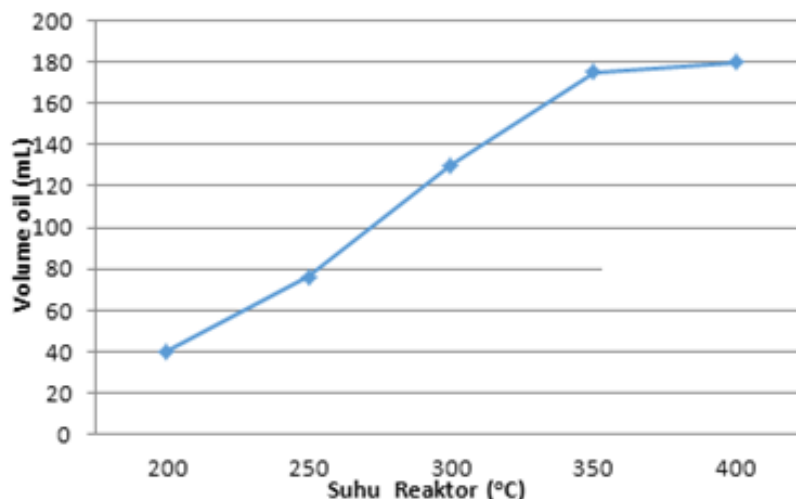
**Tabel 2.** Pengujian Counter Flow

Suhu reaktor	SUHU UAP		W (GAS)		V <i>oil</i>		Berat PET	Lama Waktu Pembakaran
	T1	T2	W0	WT	Condensor 1	Condensor 2		
400°C	143°C	131°C	W0	22.6 Kg	Condensor 1	150 MI	2 Kg	2700 s
	66°C	63°C						
	45°C		WT	22.54 Kg	Condensor 2	30 MI		
			ΔW	0.06 Kg	Total	180 MI		



**Gambar 5.** Grafik penurunan suhu uap pada pengujian pertama kondensasi *counter flow*

Dari gambar dapat dilihat hasil perbandingan volume pirolisis dari jenis sampah plastik PET (*Poliethylen Terephthalane*) menggunakan botol aqua bekas. Hal ini disebabkan karena plastik PET memiliki titik didih tertinggi dibandingkan bahan lain sehingga tidak terjadinya reaksi sekunder dari proses pirolisis yang dilakukan terhadap plastik PET ini. Dapat dilihat penurunan suhu dari asap setelah dikondensasi, pada percobaan pertama *counter flow* ini adalah percobaan yang paling efektif karena tidak turunnya hujan. Sehingga suhu di dalam reaktor bisa lebih maksimal. T pada grafik menunjukkan pengukuran suhu *thermocouple* dimana dan nomor dibelakangnya menunjukkan urutan dari *thermocouple* tersebut. T1 adalah *thermocouple* yang dipasang pada bagian bawah kondensator menunjukkan suhu uap sebelum memasuki kondensator yaitu menunjukkan temperature 143°C. T2 menunjukkan suhu asap sebelum di kondensasi. Suhu uap menurun akibat dinginnya tutup pada kondensator menjadi 131°C, lalu uap masuk melalui kondensator 1, setelah dikondensasi di kondensator 1 suhu menurun menjadi 66°C bisa dilihat pada titik T3, lalu pada T4 suhu menurun lagi menjadi 63°C diakibatkan dinginnya pipa dibawah kondensator 2. Kemudian T5 menunjukkan uap didinginkan kembali di kondensator 2 yang berakibat turunnya suhu tapi tidak terlalu signifikan menjadi 45°C. Dibandingkan dengan *parallel flow* kondensasi dengan aliran *counter flow* ini kurang efektif bisa dilihat dari turunnya suhu yang tidak terlalu besar. Akibatnya *oil* yang dihasilkan pun menurun *volumenya*. Hal ini disebabkan, ketika mengalirkan air dari bagian atas kondensator air langsung mengalir tanpa memenuhi kondensator terlebih dahulu, jadi perpindahan panas yang terjadi pada kondensator tidak terlalu besar.



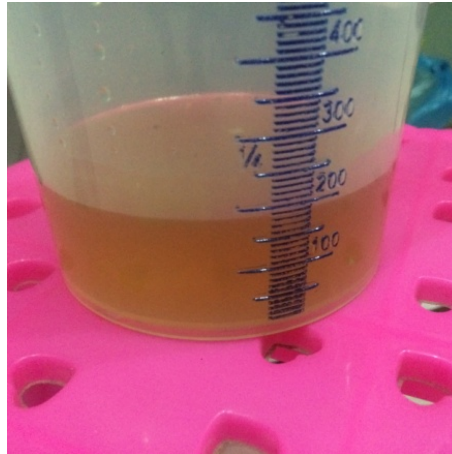
**Gambar 5.** Grafik perbandingan suhu dengan volume pada pengujian pertama *counter flow*

*Oil* yang dihasilkan pada waktu pengujian ini adalah yang paling banyak dibandingkan dengan pengujian yang lain. Pada saat 200°C volume *oil* yang dihasilkan adalah 40 mL pada awalnya hasil ini tidak terlampau terlalu jauh dengan kondensasi *parallel flow*, kemudian pada saat suhu 250°C *oil* yang dihasilkan adalah 76 mL ini menunjukkan kenaikan volume *oil* sebesar 36 mL. Kenaikkan yang signifikan ditunjukkan pada kenaikan suhu antara 250°C - 300°C

kenaikan volume *oil* terjadi sangat cepat disuhu itu kenaikannya adalah 66 mL. Dimana volume *oil* mula mula adalah 76 mL naik menjadi 130 mL. Kemudian pada suhu 175°C terjadi kenaikan sebesar 45 mL lalu disuhu akhir yaitu 400°C volume kembali naik tapi sedikit sekali yaitu hanya 5 mL.

Dan pada pengujian ini *oil* yang dihasilkan lebih sedikit karena proses kondensasi yang berubah. Pada proses ini air yang dialirkan secara *counter flow* tidak dapat memenuhi kondensor sehingga pendinginan yang dilakukan tidak seefektif pada pengujian *parallel flow*.

Dari hasil percobaan diatas dapat dilihat suhu pirolisis dan kondensasi sangat berperan dalam pengolahan sampah plastic menjadi bahan bakar pada pengujian ini.



**Gambar 6.** Hasil dari pirolisis yang telah dilakukan

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil eksperimen alat pengolah sampah menjadi bahan bakar alternative diperoleh hasil bahwa. Suhu pirolisis pada PET berlangsung efektif pada temperature  $> 250^{\circ}\text{C}$ . Oil yang didapat pada pengujian parallel flow lebih banyak dibandingkan dengan *counter flow*. Volume *oil* pada proses pirolisis yang paling banyak yaitu pada suhu  $260^{\circ}\text{C}$  -  $350^{\circ}\text{C}$  Kondensor 1 lebih banyak menghasilkan *oil* dibandingkan kondensor 2. *Oil* yang dihasilkan kondensor 2 lebih murni karna mengandung materi hidrokarbon yang lebih ringan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Mulyadi, E., 2010 “ *Kinetika Reaksi Katalitik Dekomposisi Gambut.*” 10 : 90-110
- [2] Sapriyanto, A., 2011. "Mesin Pengubah Sampah Plastik Menjadi Minyak." 8:132-136
- [3] Damanhuri, E., 2009. "Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun" 5 :164-168
- [4] Sumarni , 2008., "Kinetika reaksi pirolisis plastik *low density polyethylene*," 15: 135-137.
- [6] Adimasramdhani 2010. Pirolisis <http://adimasramdhani.wordpress.com> diakses : 10 Oktober 2016
- [7] Anonim 2013. *Pirolisis*. <http://id.wikipedia.org/wiki/Pirolisis>, diakses : 10 Oktober 2016