

PENGARUH PENAMBAHAN PIPA PEMANAS DENGAN ANNULAR FIN PADA REAKTOR PIROLISIS TERHADAP KINERJA REAKTOR PIROLISIS SAMPAH PLASTIK

Jefri Doni Lumban Gaol

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: jefrigaol16050754050@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan pipa penukar panas dengan *annular fin* terhadap kinerja reaktor pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* memiliki kinerja yang lebih baik. Persebaran suhu reaktor pirolisis dengan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* dibandingkan dengan tanpa menggunakan pipa pemanas pada perlakuan suhu 350°C, 400°C, dan 450°C memiliki nilai yang lebih besar masing-masing senilai 279,75°C > 251,25°C, 328°C > 303,25°C, dan 369,00°C > 339,25°C. Selisih rata-rata suhu reaktor dengan menggunakan pipa pemanas dengan *annular fin* dan tanpa pipa pemanas variasi suhu 350°C, 400°C, dan 450°C masing-masing 28,50°C, 24,75°C dan 29,75°C. Pada jumlah kondensat minyak perlakuan suhu 350°C, 400°C dan 450°C penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* memiliki jumlah lebih banyak yakni sejumlah 75 gram > 35 gram, 128 gram > 56 gram dan 202 gram > 199 gram. Daya kompor pada penelitian ini menunjukkan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* lebih efisien dengan nilai pada masing masing perlakuan suhu 350°C, 400°C dan 450°C senilai 5526,95 (J) < 6145,35 (J), 6686,45 (J) < 6841,05 (J) dan 7498,1(J) < 8387,05 (J). Efisiensi destilat dan efisiensi teknis meningkat pada perlakuan suhu 350°C, 400°C dan 450°C peningkatan pada efisiensi destilat senilai 1,59%, 6,92%, 4,42% dan peningkatan pada efisiensi teknis senilai 2,99%, 3,44%, 1,13%.

Kata kunci: *Phyrolisis*, Sampah Plastik, Reaktor, Pipa Penukar Panas, *Annular Fin*, Persebaran Panas.

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of adding an annular fin heat exchanger pipe to the performance of the pyrolysis reactor. The results showed that the use of heating pipes with annular fins had better performance. The temperature distribution of the pyrolysis reactor with the use of a heating pipe with annular fins compared to without using a heating pipe at temperatures of 350 ° C, 400 ° C, and 450 ° C has a greater value of 279.75 ° C > 251.25 ° C, 328 ° C > 303.25 ° C, and 369.00 ° C > 339.25 ° C. The difference in the average temperature of the reactor using a heating pipe with an annular fin and without a heating pipe with variations in temperature of 350 ° C, 400 ° C, and 450C, respectively, is 28.50 ° C, 24.75 ° C and 29.75 ° C. In the amount of oil condensate treated at temperatures of 350 ° C, 400 ° C and 450 ° C the use of heating pipes with annular fins had more amounts, namely 75 grams > 35 grams, 128 grams > 56 grams and 202 grams > 199 grams. The power of the stove in this study shows the use of heating pipes with annular fins is more efficient with values at each temperature treatment of 350 ° C, 400 ° C and 450 ° C worth 5526.95 (J) < 6145.35 (J), 6686.45 (J) < 6841, 05 (J) and 7498.1(J) < 8387.05 (J). Distillate efficiency and technical efficiency increased at treatment temperatures of 350 ° C, 400 ° C and 450C, an increase in distillate efficiency of 1.59%, 6.92%, 4.42% and an increase in technical efficiency of 2.99%, 3.44%, 1.13%.

Keywords: *pyrolysis, plastic waste, reactor, heat exchanger pipe, annular fin, heat distribution.*

PENDAHULUAN

Plastik merupakan bahan yang sangat dibutuhkan dalam menunjang kehidupan manusia. Sifat plastik yang ringan dan kuat, tahan korosi, transparan dan sifat insulasi yang baik mengakibatkan plastik banyak digunakan. Diantaranya sebagai bahan alat rumah tangga, kemasan makanan, mainan anak, hingga alat elektronik.

Peningkatan penggunaan bahan plastik ini tentunya diikuti juga dengan meningkatnya jumlah limbah plastik. Berdasarkan asumsi Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). Setiap hari penduduk Indonesia menghasilkan

0,8 kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Dari jumlah tersebut 15% berupa sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik perhari (Fahlevi, 2012).

Menurut Al-Salem dkk (2009), untuk meminimalisasi dampak kerusakan lingkungan maka material plastik harus didaur-ulang untuk mendapatkan kembali produknya atau menghasilkan produk lain yang bernilai ekonomi. Ada beberapa metode untuk mendaur-ulang sampah plastik ini diantaranya *mechanical recycling*, *feedstock recycling* dan *energy recovery*.

Mechanical recycling adalah proses untuk mendapatkan kembali produk plastik dari sampah plastik dengan cara mekanis. *Energy recovery* adalah suatu metode untuk mendapatkan kembali energi yang terkandung di dalam sampah plastik dengan cara dibakar untuk menghasilkan energi dalam bentuk kalor, uap maupun listrik. *Feedstock* atau *chemical recycling* merupakan teknologi yang lebih maju dimana sampah plastik dikonversi menjadi molekul dengan ukuran yang lebih kecil berbentuk cairan maupun gas untuk memproduksi bahan bakar maupun zat-zat kimia. *Feedstock recycling* melibatkan proses degradasi termal untuk memecah polimer dengan rantai panjang menjadi lebih pendek.

Salah satu metode pengolahan dengan metode *Feedstock recycling* adalah pirolisis. Pirolisis adalah metode yang aman digunakan untuk mengolah limbah plastik. Pirolisis merupakan pemecahan rantai polimer menggunakan suhu tertentu (Rodiansono *et al.*, 2007). Pirolisis merupakan degradasi termal dari material tanpa adanya oksigen atau dalam keadaan kekurangan oksigen (Patni *et al.* 2013). Metode pirolisis dapat mereduksi limbah plastik hingga 90% (Siddiqui dan Redwhi 2009).

Gas hasil pirolisis dapat dikondensasikan menjadi minyak yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Menurut Naufan (2016) kondensat cair hasil pirolisis mempunyai densitas yang sama dengan bensin yaitu 0,7 gram/cm³, walaupun nilai kalornya lebih kecil yaitu 37 MJ/kg.

Beberapa plastik yang biasa digunakan sebagai bahan baku pirolisis adalah *Poly Ethylene Terephthalate* (PET), *High Density Poly Ethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Poly Ethylene* (LDPE), *Poly Propylene* (PP). Jenis plastik yang sering ditemukan adalah PET yang digunakan sebagai bahan baku botol air mineral, LDPE yang digunakan sebagai bahan baku kantong kresek dan PP yang digunakan sebagai gelas air mineral (Endang K *et al.*, 2016)

Penelitian yang sudah ada menunjukkan bahwa persebaran suhu pada reaktor merupakan suatu hal yang harus diperhatikan. Penelitian yang dilakukan oleh Naufan (2016) menunjukkan adanya persebaran suhu pada reaktor yang tidak konstan yang terjadi pada range 340°C – 430°C.

Menurut Ramadhan *et al.* (2012) suhu optimum untuk pirolisis plastik adalah pada suhu 450⁰ C. Oleh karena itu dibutuhkan modifikasi pada reaktor agar sebaran suhu menjadi stabil. Seperti yang telah dilakukan Rizal Hangabi (2018) yang mengamati fenomena sebaran suhu pada reaktor pirolisis plastik pada reaktor yang telah dimodifikasi dengan penambahan pipa penukar panas.

Persebaran suhu pada reaktor pirolisis dapat diamati menggunakan model yang dibuat oleh Hartulistiyoso *et al.* (2015). Dengan melakukan analisis persebaran suhu

di lima titik di dalam reaktor. Persebaran suhu yang diamati pada proses pirolisis dengan suhu 450°C menunjukkan bahwa di dalam reaktor terdapat gradasi suhu dari reaktor bagian bawah dengan bagian atas pada kondisi *steady state*. Suhu pada bagian bawah reaktor yang berdekatan dengan sumber panas menunjukkan angka rata – rata yaitu 450°C sedangkan pada suhu pada bagian atas reaktor menunjukkan angka rata – rata 270°C. Terdapat perbedaan gradasi suhu mencapai 180°C.

Berdasarkan fakta-fakta tersebut, penulis melakukan penelitian tentang pirolisis sampah plastik, penulis membuat alat pirolisis dengan penambahan pipa-pipa pemanas yang disertai *annular fin* yang bertujuan untuk mengoptimalkan persebaran panas pada reaktor pirolisis. Sehingga gradasi perbedaan suhu di dalam reaktor dapat dikurangi dan mampu meningkatkan kinerja reaktor pirolisis.

METODE

Jenis Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan jenis penelitian uji eksperimen (*experimental research*). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* terhadap kinerja reaktor pirolisis sampah plastik.

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin. Gedung A8, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.

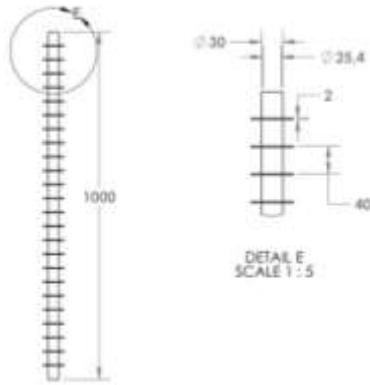
Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan setelah proposal skripsi disidangkan dan disetujui hingga segala data dan analisa yang diperlukan terpenuhi, dimulai dari 14 juli 2020 – selesai.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen atau variabel terikat (Sugiyono, 2011). Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengembangan reaktor pirolisis dengan penambahan pipa-pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis.



Gambar 1 Desain Pipa Pemanas

Pada penelitian ini jumlah pipa pemanas sejumlah 6 buah dengan panjang 1000 mm dan masing-masing pipa dilengkapi 24 *annular fin*. Bahan yang digunakan terbuat dari besi. Pipa pemanas pada penelitian ini juga berada pada batas penelitian yang dilakukan oleh Sudirman (2017) dengan diameter pipa 25 mm, panjang *fin* 15 mm dan tebal *fin* 2 mm. jarak masing-masing *fin* juga berdasar kepada penelitian yang dilakukan oleh Wirapraja (2014) dengan jarak 4 cm pada pipa pemanas dengan *annular fin* pada kolektor surya pemanasnya.

Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2011). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

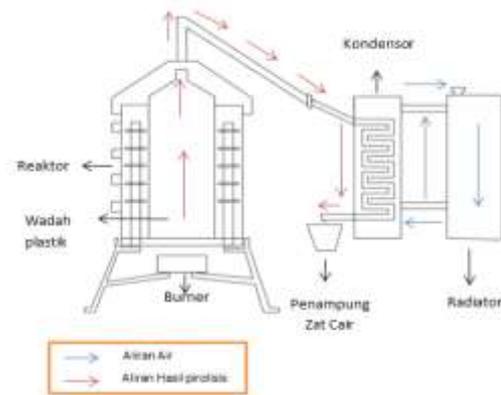
- Persebaran panas reaktor pirolisis.
- Kuantitas produk hasil pirolisis (*char*, minyak, dan *uncondensable gas*).
- Efisiensi reaktor pirolisis (daya kompor terpakai, efisiensi destilasi, dan efisiensi teknis proses pirolisis).
- Kinerja reaktor pirolisis sampah plastik.

Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Bahan bakar yang digunakan adalah *Liquid Petroleum Gas* (LPG).
- Plastik yang digunakan dalam pengujian PP (*Polypropylene*).
- Proses pendinginan menggunakan kondensor kapasitas 4 liter air yang dilengkapi pendingin radiator *assy 1 ply* dengan arah aliran *counter flow*.
- Debit pompa 5 liter permenit.
- Perlakuan suhu reaktor pada suhu 350°C, 400°C dan 450°C.

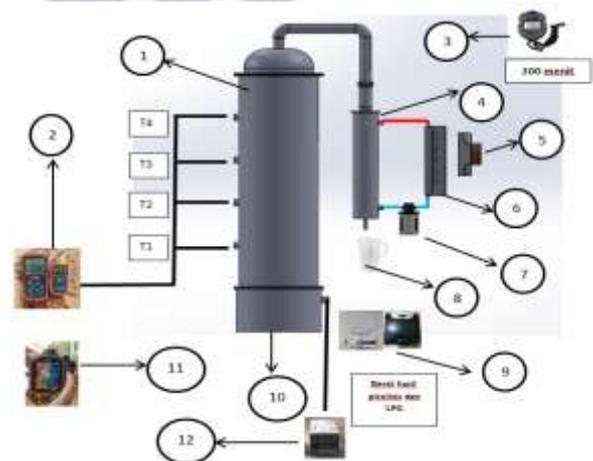
Skema Proses Pirolisis.



Gambar 2 Skema Pirolisis

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini memiliki dimensi tinggi 1000 mm dan diameter 320 mm dengan tebal 5mm terbuat dari besi dengan wadah plastik berkapasitas 3,6 kg. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:



Gambar 3 Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan :

1. Reaktor
 2. *Digital Thermocouple (Data Logger)*
 3. *Stopwatch*
 4. Kondensor
 5. Kipas
 6. Radiator
 7. Pompa
 8. Gelas ukur
 9. Timbangan digital
 10. Tungku
 11. *Thermal imager*
 12. *thermocontrol*
- T1 : titik pengukuran 1 (20 cm)
 T2 : titik pengukuran 2 (40 cm)
 T3 : titik pengukuran 3 (60 cm)
 T4 : titik pengukuran 4 (80 cm)

Prosedur Penelitian

Tahap persiapan

- Menyiapkan sampah plasti jenis PP (*Polypropylene*). Sebelumnya material plastik dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil 2x2 cm kemudian dilakukan proses penjemuran.
- Memeriksa kelayakan dan mengkalibrasi instrumen penelitian bila diperlukan.

Tahap pengujian

Kinerja reaktor pirolisis

- Siapkan instalasi reaktor pirolisis, kondensor dan burner.
- Plastik PP (*Polypropylene*) ditimbang sebanyak 1,2 kg
- Bahan plastik dimasukkan ke dalam wadah plastik di dalam reaktor.
- Digital termokopel dan termokopel tipe K dipasang pada 4 titik reaktor.
- Termokontrol dan Termokopel batang tipe K dipasang pada tungku reaktor.
- Sambungkan termokopel ke *digital thermocontrol* dan *digital thermocouple* untuk membaca suhu reaktor.
- Siapkan kamera untuk melakukan dokumentasi.
- Siapkan burner berbahan bakar LPG (*liquid petroleum gas*).
- Siapkan kondensor dan radiator, kemudian nyalakan.
- Burner dinyalakan dengan memutar pematik dan katup gas.
- Ukur suhu di titik pengukuran suhu reaktor perlima menit.
- Jika ada minyak yang dihasilkan, ukur masa dan volumenya.
- Ambil gambar sebaran suhu dengan *Thermal imaging camera*.
- Setelah selesai pengujian timbang kembali masa plastik (*char*) yang masih tersisa.
- Pengujian dilakukan selama 200 menit.
- Ulangi percobaan dengan mengganti variasi suhu reaktor 350 °C, 400 °C, dan 450°C. Pengaturan suhu dilakukan dengan mengatur jumlah masuknya bahan bakar dengan titik pengukuran pertama (T1) yang dijadikan acuan suhu reaktor dan dilakukan pengukuran pada suhu tungku.

Produk hasil pirolisis

- Menampung produk hasil pirolisis (minyak).
- Bersihkan dan tampung *char* sisa reaksi pada wadah reaksi.
- Timbang produk hasil pirolisis (minyak dan *char*)

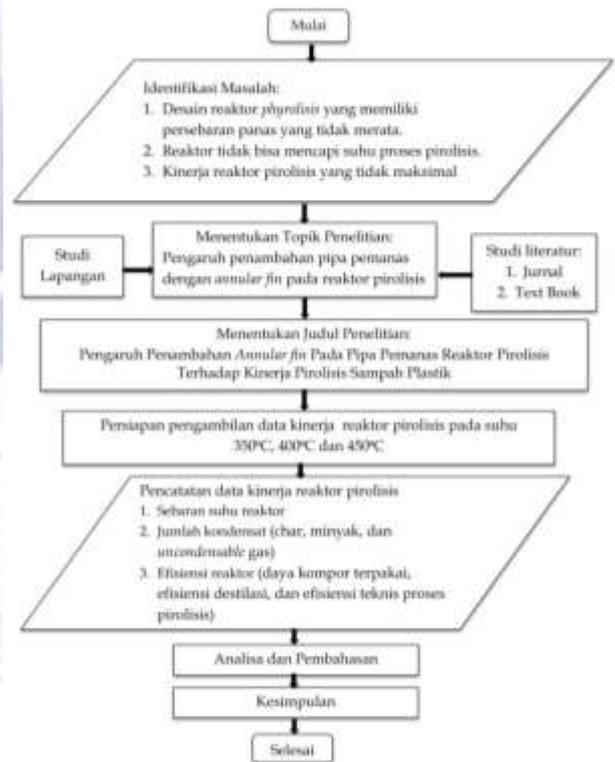
Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur atau menguji obyek yang diteliti dan mencatat hasil tersebut.

Teknik Analisa Data

Analisa data adalah suatu metode atau cara untuk mengolah sebuah data menjadi informasi sehingga dapat dipahami yang nantinya bisa dipergunakan untuk mengambil sebuah kesempatan dan menemukan solusi. Pada eksperimen teknik analisa data yang digunakan adalah dengan menggunakan metode analisis data kualitatif deskriptif. (Moleong, 2008) menjelaskan bahwa penelitian deskriptif adalah penelitian yang menggambarkan dan melukiskan keadaan obyek penelitian berdasarkan fakta-fakta pada saat pengujian. Analisis penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data yang tertera pada alat ukur yang kemudian akan dimasukkan dalam tabel, dan dihitung secara teoritis. Selanjutnya data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Flowchart Penelitian



Gambar 4 Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

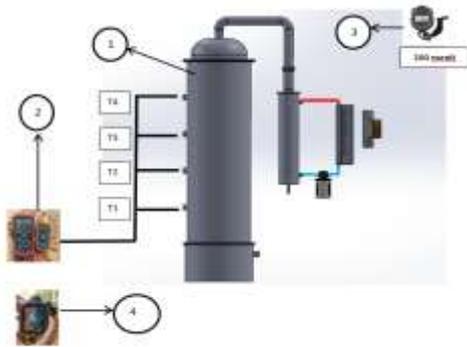
Pada bab ini akan dipaparkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh-pengaruh penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* terhadap persebaran panas reaktor pirolisis, kuantitas produk hasil pirolisis (*char*, minyak, dan *uncondensable gas*), nilai kalor

kondensat dan kinerja reaktor pirolisis (daya kompor terpakai, efisiensi destilasi, dan efisiensi teknis proses pirolisis). Penelitian ini dilakukan pada kondisi dan peralatan yang telah disesuaikan.

Dalam proses analisa data di ambil rata-rata data dari tiga kali proses pengambilan data, hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh benar-benar sesuai dengan kondisi yang terjadi dan menghindari kesalahan pembacaan nilai. Data diperoleh dari pengujian pengaruh penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis dengan memvariasikan suhu reaktor sebesar 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C.

Sebaran Suhu Pada Reaktor Pirolisis

Analisis sebaran suhu reaktor dilakukan dengan mengamati sebaran suhu reaktor di empat titik pengukuran suhu reaktor yang tersusun secara vertikal dan juga data suhu tungku selama proses.



Gambar 5 Pengukuran Sebaran Suhu Reaktor

Keterangan :

- T1 : titik pengukuran 1 (20 cm)
- T2 : titik pengukuran 2 (40 cm)
- T3 : titik pengukuran 3 (60 cm)
- T4 : titik pengukuran 4 (80 cm)

Produk Hasil Pirolisis.

Produk hasil pirolisis diukur dengan melakukan pengukuran berat kondensat yang dihasilkan. Hasil dari proses pirolisis adalah minyak, char (arang) dan gas. Minyak hasil pirolisis berwarna kekuningan seperti bensin, bersifat mudah terbakar dan berbau menyengat apabila dihirup. Char terbentuk dari penguraian atau dekomposisi plastik didalam reaktor pirolisis, char merupakan sisa plastik hasil proses pirolisis yang masih tersisa di dalam dan gas merupakan produk hasil pirolisis yang tidak berhasil dikondensasikan.

Kinera Reaktor Pirolisis

- **Daya kompor terpakai (*fire power*)**

Fire Power (P) adalah rasio energi bahan bakar yang dikonsumsi oleh kompor selama setiap fase pengujian (Berrueta, 2007). Untuk mengetahui rasio energi

bahan bakar yang digunakan untuk melakukan pirolisis plastik sesuai dengan suhu yang ingin dicapai, dapat dihitung dengan mengetahui massa gas LPG yang terpakai dan nilai kalor dari LPG.

Tabel 1 Komposisi LPG

Kondisi	Nilai
ρ_{LPG} (kg/L)	0,0021
LHV _{LPG} (MJ/kg)	46,3
LHV _{PROPAN} (MJ/kg)	46,1
LHV _{BUTAN} (MJ/kg)	46,5
Komposisi LPG:	
Propan	30%
Butan	70%

Sumber: Widodo, A. S. 2016

Sehingga dapat dihitung nilai kalor bahan bakar total sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai kalor total} &= (\% \text{ propane} \times \text{HV propane}) + (\% \\ &\text{butane} \times \text{HV butane}) \\ &= (30 \times 46,1 \text{ MJ/kg}) + (70 \times 46,5 \text{ MJ/kg}) \\ &= 4,638 \text{ MJ/kg atau } 4638 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Rasio energi bahan bakar yang dikonsumsi (*fire power*) dapat dihitung sebagai berikut (Berrueta, 2007):

$$P = \frac{mf \times LHV}{(tf - ti)}$$

Dimana:

- Mf : Massa bahan bakar yang hilang (kg)
- LHV : *Low Heating Value*/Nilai kalor bahan bakar (J/kg)
- (tf-ti) : Durasi penelitian (s)

- **Efisiensi destilasi**

Efisiensi destilasi adalah perbandingan jumlah sampah plastik dengan minyak yang dihasilkan selama proses destilasi. Untuk mengetahui perbandingan jumlah (kuantitas) minyak yang dihasilkan dari proses destilasi maka dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{efisiensi destilat\%} \\ = \frac{\text{berat basah (kg)} - \text{berat kering (kg)}}{\text{berat awal plastik (kg)}} \times 100\% \end{aligned}$$

Dimana berat basah merupakan berat plastik yang dimasukkan ke dalam tungku sebelum proses destilasi dan berat kering adalah merupakan berat plastik atau ampas plastik yang didapat setelah proses (Mursito J dkk, 2017).

• Efisiensi Teknis

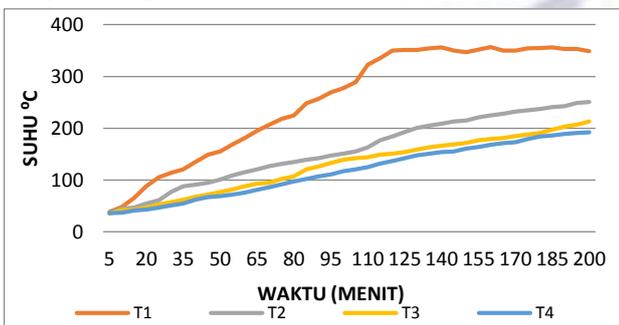
Perhitungan efisiensi teknis dilakukan untuk mengetahui persen perbandingan energi yang digunakan atau energi yang dipakai selama proses pirolisis terhadap produk hasil pirolisis (Mursito J dkk, 2017).

$$Efisiensi\ teknis\ (\%) = \frac{massa\ destilat.NK\ destilat}{masa\ gas.NK\ gas + Daya\ pompa + Daya\ kipas\ radiator} \times 100\%$$

Pembahasan

Pengaruh Penggunaan Pipa Pemanas Dengan Annular Fin Terhadap Sebaran Suhu Pada Reaktor Pirolisis

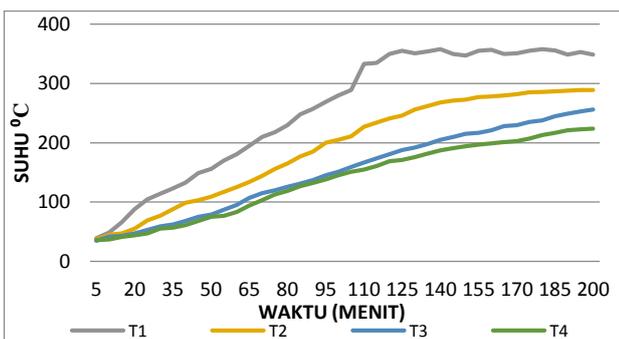
• Sebaran Suhu Reaktor Variasi Suhu 350⁰ C



Gambar 6 Grafik sebaran suhu reaktor 350⁰ C

Gambar 6 merupakan sebaran suhu di empat titik pengukuran reaktor pada variasi suhu 350⁰ C dan tanpa menggunakan *annular fin*.. Suhu pada reaktor mengalami kenaikan dengan laju kenaikan yang cenderung lambat. Hal itu dapat terlihat dari garis kenaikan grafik yang landai. Reaktor mencapai suhu yang diinginkan yakni suhu 350⁰ C dalam waktu 120 menit.

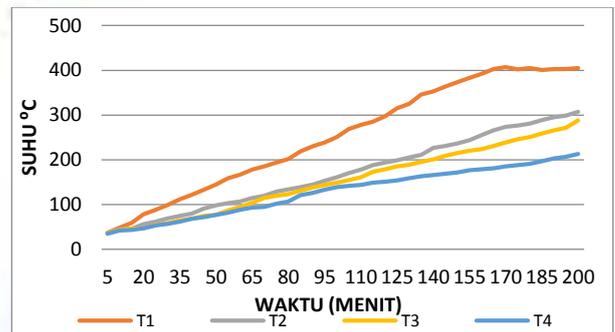
Gambar 6 menunjukkan suhu yang mampu dicapai reaktor di masing-masing titik pengukuran memiliki gradasi nilai yang berbeda. Suhu maksimum yang dicapai selama proses pirolisis (200 menit) di masing-masing titik adalah sebesar T1 (20 cm) 349⁰ C, T2 (40 cm) 251⁰ C, T3 (60 cm) 213⁰ C dan T4 (80 cm) 192⁰ C.



Gambar 7 Grafik sebaran suhu reaktor 350⁰ C (Annular Fin)

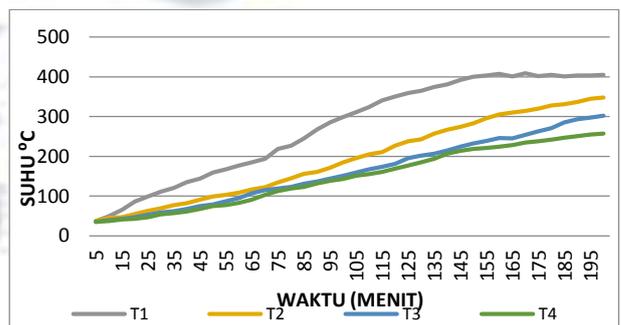
Gambar 7 merupakan grafik sebaran suhu pada reaktor dengan variasi suhu 350⁰ C dengan menggunakan *annular fin*. Reaktor mencapai suhu 350⁰ C membutuhkan waktu 120 menit. Suhu maksimum yang dicapai selama proses pirolisis (200 menit) di masing-masing titik adalah sebesar T1 (20 cm) 350⁰ C, T2 (40 cm) 289⁰ C, T3 (60 cm) 256⁰ C dan T4 (80 cm) 224⁰ C. Lebih besar dibandingkan tanpa penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* yakni masing-masing titik sebesar sebesar T1 (20 cm) 349⁰ C, T2 (40 cm) 251⁰ C, T3 (60 cm) 213⁰ C dan T4 (80 cm) 192⁰ C.

• Sebaran Suhu Reaktor Variasi Suhu 400⁰ C



Gambar 8 Grafik sebaran suhu reaktor 400⁰ C

Gambar 8 merupakan grafik sebaran suhu pada reaktor dengan variasi suhu 400⁰ C tanpa menggunakan *annular fin*. Reaktor mencapai suhu 400⁰ C membutuhkan waktu 165 menit. Suhu maksimum yang dicapai selama proses pirolisis (200 menit) di masing-masing titik adalah sebesar T1 (20 cm) 400⁰ C, T2 (40 cm) 307⁰ C, T3 (60 cm) 288⁰ C dan T4 (80 cm) 213⁰ C.



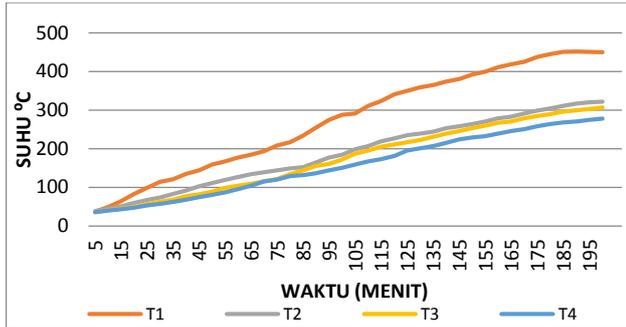
Gambar 9 Grafik sebaran suhu reaktor 400⁰ C (Annular Fin)

Gambar 9 merupakan grafik sebaran suhu pada reaktor dengan variasi suhu 400⁰ C dengan menggunakan *annular fin*. Reaktor mencapai suhu 400⁰ C membutuhkan waktu 150 menit. Suhu maksimum yang dicapai selama proses pirolisis (200 menit) di masing-masing titik adalah sebesar T1 (20 cm) 400⁰ C, T2 (40 cm) 348⁰ C, T3 (60 cm) 302⁰ C

dan T4 (80 cm) 257^o C. Lebih besar dibandingkan tanpa penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* yakni masing-masing titik sebesar sebesar T1 (20 cm) 400^o C, T2 (40 cm) 307^o C, T3 (60 cm) 288^o C dan T4 (80 cm) 213^o C.

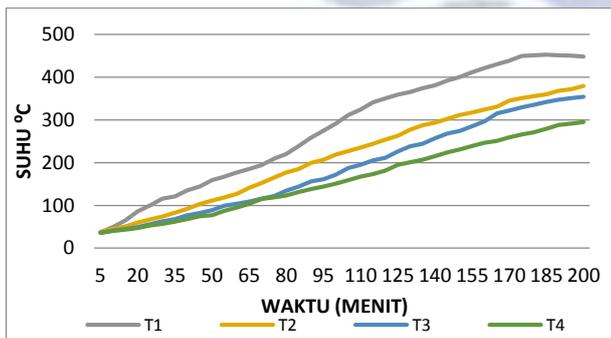
Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 400^o C pada penggunaan pipa pemanas *annular fin* lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan *annular fin* yakni 150 menit dan 165 menit.

• **Sebaran Suhu Reaktor Variasi Suhu 450^o C**



Gambar 10 Grafik sebaran suhu reaktor 450^o C

Gambar 10 merupakan grafik sebaran suhu pada reaktor dengan variasi suhu 450^o C tanpa menggunakan *annular fin*. Reaktor mencapai suhu 450^o C membutuhkan waktu 185 menit. Suhu maksimum yang dicapai selama proses pirolisis (200 menit) di masing-masing titik adalah sebesar T1 (20 cm) 450^o C, T2 (40 cm) 322^o C, T3 (60 cm) 307^o C dan T4 (80 cm) 278^o C.



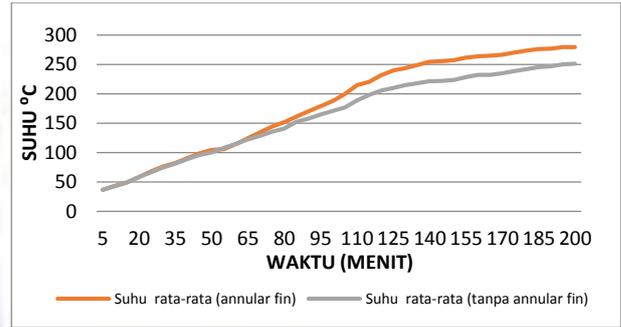
Gambar 11 Grafik sebaran suhu reaktor 450^o C (*Annular Fin*)

Gambar 11 merupakan grafik sebaran suhu pada reaktor dengan variasi suhu 450^o C dengan menggunakan *annular fin*. Reaktor mencapai suhu 450^o C membutuhkan waktu 175 menit. Suhu maksimum yang dicapai selama proses pirolisis (200 menit) di masing-masing titik adalah sebesar T1 (20 cm) 450^o C, T2 (40 cm) 379^o C, T3 (60 cm) 354^o C dan T4 (80 cm) 295^o C. Lebih besar dibandingkan tanpa penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* yakni masing-masing titik sebesar sebesar T1 (20 cm)

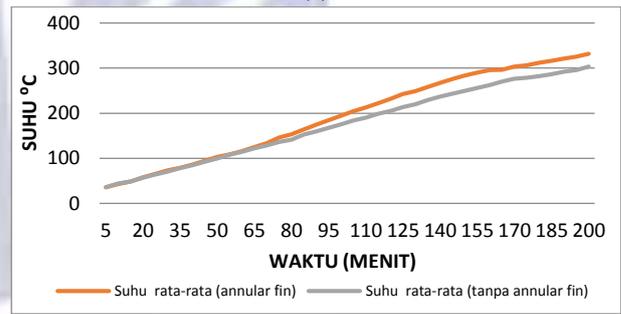
450^o C, T2 (40 cm) 322^o C, T3 (60 cm) 307^o C dan T4 (80 cm) 278^o C.

Dari hasil penelitian menunjukkan proses pirolisis termasuk kedalam pirolisis lambat. Besler dan Williams (1996) menyatakan bahwa *slow pyrolysis* (pirolisis lambat) dari biomasa dilakukan pada laju pemanasan kurang dari 100°C/s. Produk utama yang dihasilkan selama pirolisis lambat adalah char dan bio-oil.

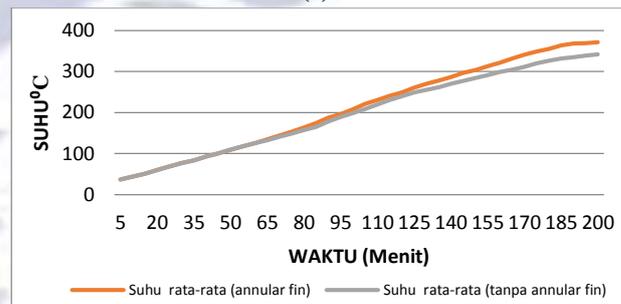
• **Rata-Rata Suhu Reaktor**



(c)



(c)



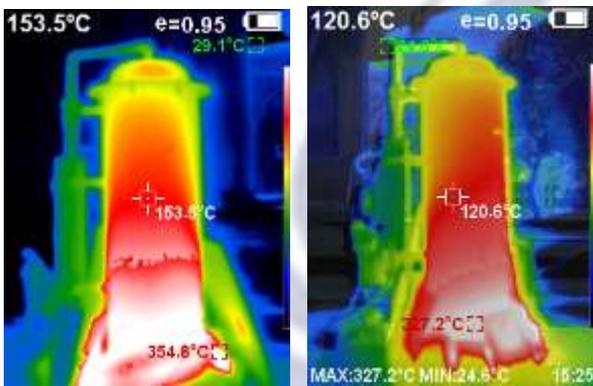
(c)

Gambar 12 Grafik rata-rata suhu reaktor (a) rata-rata suhu reaktor 350^o C, (b) rata-rata suhu reaktor 400^o C, dan (c) rata-rata suhu reaktor 450^o C

Gambar 12 menunjukkan perbandingan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* dibandingkan dengan tanpa menggunakan pipa pemanas pada perlakuan suhu 350^o C, 400^o C, dan 450^o C memiliki nilai rata-rata suhu maksimum reaktor yang lebih besar masing-masing senilai 279,75^o C > 251,25^o C, 328^o C > 303,25^o C, dan 369,00^o C > 339,25^o C. Selisih rata-rata suhu

reaktor dengan menggunakan pipa pemanas dengan *annular fin* dan tanpa pipa pemanas variasi suhu 350⁰ C, 400⁰ C, dan 450⁰ C masing-masing 28,50⁰ C, 24,75⁰ C dan 29,75⁰ C.

Peningkatan rata-rata suhu reaktor pirolisis ini diakibatkan oleh pindah panas yang terjadi tidak hanya melalui kontak alas reaktor dengan wadah plastik saja. Namun juga melalui pipa-pipa penukar panas. Terjadi pindah panas dari tungku kedalam pipa-pemanas dalam reaktor, kemudian berpindah kembali ke wadah plastik. Dengan penambahan *annular fin* maka akan mengakibatkan luas permukaan yang memindahkan panas akan semakin besar dengan demikian maka ruang dalam reaktor dapat lebih panas.



Gambar 13 Distribusi panas reaktor (a) dengan pipa pemanas (b) tanpa pipa pemanas

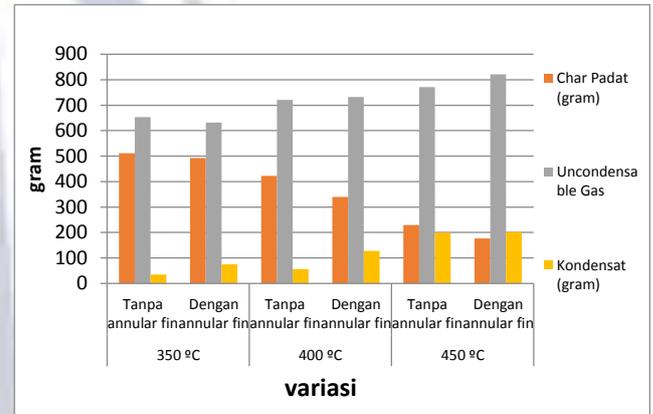
Gambar 13 merupakan gambar sebaran panas pada reaktor pirolisis yang didapat dengan menggunakan kamera *thermal imager*, gradasi suhu dari masing-masing perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun, dengan menggunakan *annular fin* memiliki sebaran panas yang lebih baik. Dari hasil pengukuran peletakan *thermokople* di empat titik reaktor menyimpulkan Perbedaan terjadi pada bagian bawah reaktor di mana plastik mengalami proses pencairan dan pada bagian atas reaktor. Perbedaan suhu pada setiap lokasi pengukuran sangat dipengaruhi oleh gas yang dihasilkan selama proses pirolisis plastik (Feng, 2010). Variasi suhu terjadi pada bagian tengah reaktor dan bagian atas pada reaktor, hal ini disebabkan oleh pindah panas yang terjadi secara signifikan semakin ke atas bagian reaktor.

Pengaruh Penggunaan Pipa Pemanas Dengan Annular Fin Terhadap Produk Hasil Pirolisis

Tabel 2 Hasil Pirolisis

NO	Suhu (°C)	Reaktor	Massa Plastik (g)	Char Padat (g)	Uncondensable Gas (g)	Kondensat (g)
1	350	Tanpa <i>annular fin</i>	1200	512	653	35
		Dengan <i>annular fin</i>	1200	493	632	75
2	400	Tanpa <i>annular fin</i>	1200	423	721	56
		Dengan <i>annular fin</i>	1200	340	732	128
3	450	Tanpa <i>annular fin</i>	1200	230	771	199
		Dengan <i>annular fin</i>	1200	177	821	202

Dari tabel 2 kemudian dapat dibuat bagan jumlah kondensat sebagai berikut:



Gambar 14 Bagan jumlah kondensat

Gambar 14 menunjukkan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* berpengaruh terhadap jumlah kondensat yang dihasilkan. Dimana pada suhu 350⁰ C hasil kondensat dengan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* lebih banyak dibandingkan dengan tanpa menggunakan pipa pemanas. Masing-masing sejumlah 35 gram dan 75 gram. Pada suhu 400⁰ C masing-masing 56 dan 128 gram. Pada suhu 450⁰ C masing-masing sejumlah 199 dan 202 gram.

Peningkatan juga terjadi pada jumlah gas yang dihasilkan dimana pada suhu 350⁰ C hasil *uncondensable gas* dengan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* lebih banyak dibandingkan dengan tanpa menggunakan pipa pemanas. Masing-masing sejumlah 653 gram dan 632 gram. Pada suhu 400⁰ C masing-masing 721 gram dan 732 gram. Pada suhu 450⁰ C masing-masing sejumlah 771 dan 821 gram. Jumlah gas yang tidak terkondensasi jauh lebih banyak dibandingkan gas yang berhasil dikondensasi, hal tersebut menunjukkan kondensor yang digunakan belum efektif.

Kenaikan jumlah kondensat cair dan *uncondensable gas* berbanding terbalik dengan menurunnya jumlah kondensat padat. Dimana penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* menunjukkan hasil yang lebih baik. Dimana pada suhu 350⁰ C dengan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* jumlah kondensat padat menurun dari 512 gram menjadi 493 gram. pada suhu 400⁰ C jumlah kondensat padat menurun dari 423 gram menjadi 340 gram. Dan pada suhu 450⁰ C jumlah kondensat padat menurun dari 230 gram menjadi 177 gram.

Perbedaan kuantitas kondensat yang dihasilkan terjadi karena penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* memiliki distribusi temperatur yang lebih baik dan sebaran suhu reaktor merupakan salah satu faktor dalam proses pirolisis. Feng (2010) menyebutkan bahwa kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan dari proses pirolisis dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain tipe reaktor, temperature dan waktu tinggal di dalam reaktor, tekanan operasi dan penggunaan katalis.

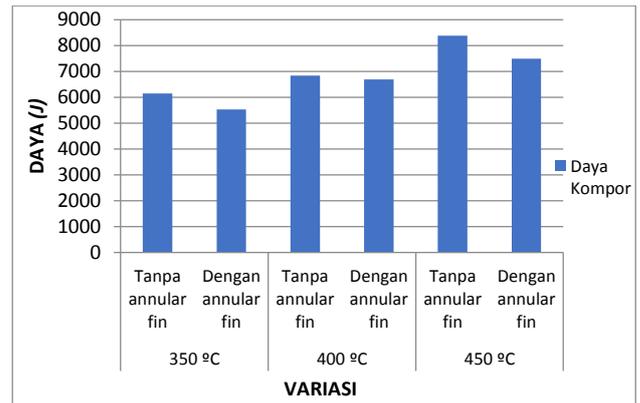
Pengaruh Penggunaan Pipa Pemanas Dengan *Annular Fin* Terhadap Kinerja Reaktor Pirolisis.

- Daya Kompor Terpakai (Fire Power)

Tabel 3 Daya Kompor

NO	Suhu (°C)	Reaktor	Lama Proses (s)	Masa LPG awal (Kg)	Massa LPG akhir (Kg)	LPG terpakai (Kg)	Daya Kompor (J)
1	350	Tanpa <i>annular fin</i>	12000	8,45	6,86	1,59	6145,35
		Dengan <i>annular fin</i>	12000	8,37	6,94	1,43	5526,95
2	400	Tanpa <i>annular fin</i>	12000	8,34	6,57	1,77	6841,05
		Dengan <i>annular fin</i>	12000	8,42	6,69	1,73	6686,45
3	450	Tanpa <i>annular fin</i>	12000	8,55	6,38	2,17	8387,05
		Dengan <i>annular fin</i>	12000	8,49	6,55	1,94	7498,1

Dari data tabel 3 kemudian dapat dibuat bagan daya kompor terpakai sebagai berikut:



Gambar 15 Bagan daya kompor

Gambar 15 menunjukkan hasil penelitian pengaruh penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* terhadap kinerja reaktor pirolisis. Menunjukkan bahwa terdapat perbedaan daya kompor yang terpakai antara menggunakan pipa pemanas dengan *annular fin* dan tanpa menggunakan pipa pemanas. Dimana pada suhu 350⁰ C dengan menggunakan pipa pemanas *annular fin* senilai 5526,95 J dan tanpa pipa pemanas senilai 6145,35 J. Pada suhu 400⁰ C dengan menggunakan pipa pemanas *annular fin* senilai 6686,45 J dan tanpa pipa pemanas senilai 6841,05J. Pada suhu 450⁰ C dengan menggunakan pipa pemanas *annular fin* senilai 7498,1J dan tanpa pipa pemanas senilai 8387,05 J. Daya kompor pada penelitian ini menunjukkan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* lebih efisien dengan nilai pada masing masing perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C senilai 5526,95 (J) < 6145,35 (J), 6686,45 (J) < 6841,05 (J) dan 7498,1(J) < 8387,05 (J).

Penurunan *fire power* terjadi karena penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* mampu meningkatkan sebaran suhu reaktor dan mempercepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu reaktor yang diinginkan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 400⁰ C pada penggunaan pipa pemanas *annular fin* lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan *annular fin* yakni 150 menit dan 165 menit. Sedangkan pada suhu 450⁰ C masing-masing 175 menit dan 185 menit.

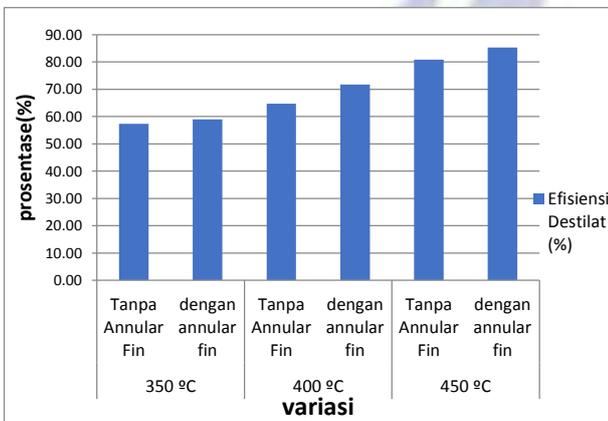
Hal yang perlu dipertimbangkan adalah *fire power* pada penelitian ini terlampau besar diakibatkan oleh banyaknya kebutuhan bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan reaktor hingga mencapai suhu yang diinginkan. Konsumsi bahan bakar ini dipengaruhi oleh kebutuhan suhu dari proses pirolisis yang tinggi, sehingga konsumsi bahan bakar menjadi semakin banyak.

• Efisiensi Destilasi

Tabel 4 Efisiensi Destilat

NO	Suhu (°C)	Reaktor	Berat Basah (g)	Berat kering (g)	Efisiensi Destilat (%)
1	350	Tanpa Annular Fin	1200	512	57,3333
		dengan annular fin	1200	493	58,9167
2	400	Tanpa Annular Fin	1200	423	64,75
		dengan annular fin	1200	340	71,6667
3	450	Tanpa Annular Fin	1200	230	80,8333
		dengan annular fin	1200	177	85,25

Dari data tabel 4 kemudian dapat dibuat bagan efisiensi destilat sebagai berikut:



Gambar 16 Bagan efisiensi destilat

Gambar 16 menunjukkan bahwa penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* mampu meningkatkan efisiensi destilat pada masing-masing perlakuan suhu. Pada perlakuan suhu 350⁰ C dengan penggunaan pipa pemanas *annular fin* meningkatkan efisiensi destilat dari 57,33% menjadi 58,92%. Pada perlakuan suhu 400⁰ C dengan penggunaan pipa pemanas *annular fin* meningkatkan efisiensi destilat dari 64,75% menjadi 71,67%. Dan pada perlakuan suhu 450⁰ C dengan penggunaan pipa pemanas *annular fin* meningkatkan efisiensi destilat dari 80,83% menjadi 85,25%. Peningkatan efisiensi destilat diakibatkan karena sebaran suhu reaktor lebih baik. Sehingga proses dekomposisi plastik berlangsung lebih baik. Namun dalam penelitian ini destilat paling banyak dihasilkan dalam bentuk gas yang tidak terkondensasi.

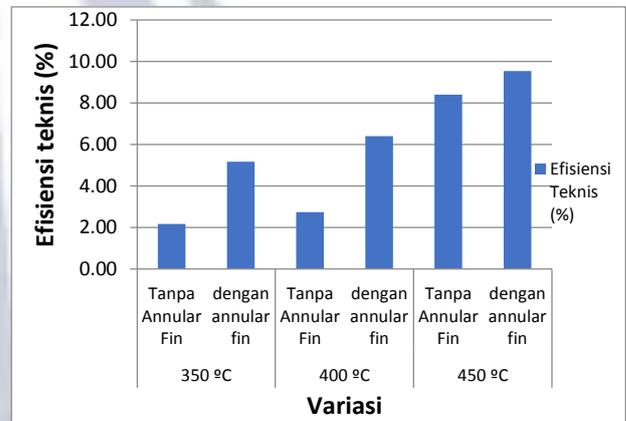
Penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* meningkatkan efisiensi destilat di tiap perlakuan suhu reaktor. Pada suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C masing-masing 1,59%, 6,92% dan 4,42%.

• Efisiensi Teknis

Tabel 5 Efisiensi Teknis

masa destilat (g)	daya pompa (J)	daya kipas(J)	nk destilat (J)	nk LPG (J)	masa gas (Kg)	Efisiensi Teknis (%)
35	504000	180000	46130	46380	1590	2,17
75	504000	180000	46130	46380	1430	5,16
56	504000	180000	40450	46380	1770	2,74
128	504000	180000	40450	46380	1730	6,40
199	504000	180000	42800	46380	2170	8,41
202	504000	180000	42800	46380	1940	9,54

Dari data tabel 5 kemudian dapat dibuat bagan efisiensi destilat sebagai berikut:



Gambar 17 Bagan efisiensi teknis

Gambar 17 menunjukkan bahwa efisiensi teknis meningkat seiring bertambahnya suhu reaktor. Nilai tertinggi terdapat pada perlakuan suhu 450⁰ C dan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin*. Peningkatan efisiensi teknis dikarenakan terjadinya peningkatan jumlah destilat seiring kenaikan suhu pada reaktor. Namun prosentase nilai efisiensi teknis terlampau rendah dengan nilai paling besar hanya 9,54.% dan nilai terendah terdapat pada suhu 350⁰ C tanpa pipa pemanas senilai 2,17%.

Gambar 4.13 menunjukkan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* meningkatkan efisiensi teknis di tiap perlakuan suhu reaktor. Pada suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C terjadi peningkatan efisiensi teknis masing-masing senilai 2,99%, 3,44% dan 1,13%.

Bagan efisiensi teknis menunjukkan bahwa energi yang digunakan pada proses destilasi memiliki presentase lebih banyak dibandingkan energi yang dapat dihasilkan dalam hal ini kaitannya adalah minyak hasil destilasi. Proses kondensasi yang kurang maksimal menjadi penyebab terjadinya nilai efisiensi teknis rendah. Hal itu terlihat dari

sedikitnya minyak yang dihasilkan apabila dibandingkan dengan banyaknya jumlah *uncondensable gas* (gas yang tidak terkondensasi) dalam proses pirolisis.

Besarnya kebutuhan bahan bakar untuk memanaskan reaktor juga menjadi alasan kenapa nilai efisiensi teknis menjadi rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Naufan (2016) menyatakan bahwa Konsumsi bahan bakar ini dipengaruhi oleh kebutuhan suhu dari proses pirolisis yang tinggi, sehingga konsumsi bahan bakar menjadi semakin banyak. Dimana pada penelitiannya rata-rata kandungan energi total kondensat cair 10.23 MJ, rata-rata kandungan energi total kondensat padat 14.6 MJ sedangkan rata-rata energi yang digunakan adalah 296.68 MJ. Perbandingan energi yang dihasilkan kondensat cair dan padat masing-masing senilai 3.4% dan 4.9%.

Pengaruh penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis terhadap kinerja reaktor pirolisis.

Tabel 6 kinerja reaktor pirolisis

Suhu (°C)	Rata-rata Suhu Maksimum (°C)		Minyak (g)		Daya Kompur (J)		Efisiensi Destilat (%)		Efisiensi Teknis (%)	
	Tanpa	<i>Annular Fin</i>	Tanpa	<i>Annular Fin</i>	Tanpa	<i>Annular Fin</i>	Tanpa	<i>Annular Fin</i>	Tanpa	<i>Annular Fin</i>
	350	251,25	279,75	35	75	6145,35	5526,95	2,17	5,16	57,33
400	303,25	328	56	128	6841,05	6841,05	2,74	6,40	64,75	71,67
450	339,25	369,00	199	202	8397,05	7498,1	8,41	9,54	80,83	85,25

Tabel 6 menunjukkan bahwa penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis berpengaruh terhadap kinerja reaktor pirolisis. Penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis mampu meningkatkan sebaran suhu dan laju pemanasan pada reaktor pirolisis. Ditunjukkan dengan naiknya nilai rata-rata pengukuran suhu di empat titik reaktor pirolisis. Pada suhu 350⁰ C rata-rata suhu maksimum reaktor yang mampu dicapai meningkat dari 251,25⁰ C menjadi 279,75. Pada suhu 400⁰ C meningkat dari 303,25⁰ C menjadi 328⁰ C dan pada suhu 450⁰ C meningkat dari 339,25⁰ C menjadi 369,00⁰ C. Laju pemanasan reaktor meningkat dimana waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 400⁰ C pada penggunaan pipa pemanas *annular fin* lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan *annular fin* yakni 150 menit dan 165 menit. Sedangkan pada suhu 450⁰ C masing-masing 175 menit dan 185 menit.

Kenaikan sebaran suhu reaktor dan laju pemanasan berimbas kepada meningkatnya

parameter kinerja reaktor. Jmlah kondensat minyak masing-masing perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* memiliki jumlah lebih banyak yakni sejumlah 75 gram > 35 gram, 128 gram > 56 gram dan 202 gram > 199 gram. Daya kompor lebih efisien dengan nilai pada masing masing perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C senilai 5526,95 (J) < 6145,35 (J), 6686,45 (J) < 6841,05 (J) dan 7498,1(J) < 8387,05 (J). Efisiensi destilat dan efisiensi teknis meningkat pada perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C terjadi peningkatan masing-masing senilai 1,59%, 6,92%, 4,42% dan 2,99%, 3,44% dan 1,13%.

PENUTUP

Simpulan

- Penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis berpengaruh terhadap persebaran panas reaktor pirolisis, meningkatkan rata-rata suhu reaktor, dan mengurangi selisih suhu di tiap titik reaktor. Penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* dibandingkan dengan tanpa menggunakan pipa pemanas pada perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C, dan 450⁰ C memiliki nilai yang lebih besar masing-masing senilai 279,75⁰ C > 251,25⁰ C, 328⁰ C > 303,25⁰ C, dan 369,00⁰ C > 339,25⁰ C. Selisih rata-rata suhu reaktor dengan menggunakan pipa pemanas dengan *annular fin* dan tanpa pipa pemanas variasi suhu 350⁰ C, 400⁰ C, dan 450⁰ C masing-masing 28,50⁰ C, 24,75⁰ C dan 29,75⁰ C.
- Penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* berpengaruh terhadap jumlah kondensat yang dihasilkan. Dimana pada jumlah kondensat minyak masing-masing perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* memiliki jumlah lebih banyak yakni sejumlah 75 gram > 35 gram, 128 gram > 56 gram dan 202 gram > 199 gram.
- Penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis berpengaruh terhadap efisiensi reaktor pirolisis (daya kompor, efisiensi destilat, dan efisiensi teknis). Daya kompor pada penelitian ini menunjukkan penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* lebih efisien dengan nilai pada masing masing perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C senilai 5526,95 (J) < 6145,35 (J), 6686,45 (J) < 6841,05 (J) dan 7498,1(J) < 8387,05 (J). Penggunaan pipa pemanas dengan *annular fin* meningkatkan efisiensi destilat dan efisiensi teknis, hal itu terlihat dengan meningkatnya nilai efisiensi destilat dan efisiensi teknis pada perlakuan suhu 350⁰ C, 400⁰ C dan 450⁰ C terjadi peningkatan masing-masing

senilai 1,59%, 6,92% dan 4,42% dan 2,99%, 3,44% dan 1,13%.

- Penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* pada reaktor pirolisis berpengaruh terhadap kinerja reaktor pirolisis. Hal tersebut diakibatkan karena penambahan pipa pemanas dengan *annular fin* mampu meningkatkan suhu, dan laju pemanasan reaktor yang merupakan faktor – faktor yang mempengaruhi kinerja reaktor pirolisis.

Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada kondensor.
- Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai karakteristik kondensat hasil proses pirolisis.
- Sebelum melakukan penelitian lebih lanjut maka perlu dilakukan modifikasi pada reaktor berupa penggunaan bahan yang memiliki konduktivitas termal yang baik, mengurangi tebal dinding dan alas reaktor.
- Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan bahan bakar untuk proses pirolisis yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Salem, S.M., Lettieri, P., Baeyens, J., (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29, 2625-2643.
- Berrueta, Victor M., Edwards, Rufus D., Masera Omar R. 2007. "Energy Performance of Wood-Burning Cookstoves in Michoacan, Mexico". *Renewable Energy* 33 (2008) 859-870.
- Besler, S., Williams, T.P., 1996. The influence of Temperature and Heating. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 89, 333-339.
- Endang K, Mukhtar G, Abed Nego, F X Angga Sugiyana, 2016, Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak.
- Fahlevi, M.R. (2012) sampah plastik (<http://rizafahlevi.blogspot.com/2012/01/twit-sampah-plastik.html>).
- Gao Feng, 2010, A thesis Submitted in Fulfilment Of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Chemeical and Process Engineering, University of Canterbury.
- Hangabi R, 2018. Modifikasi Reaktor Pada Alat Pirolisis Plastik. [Skripsi]. Bogor (Id) : Institut Pertanian Bogor.
- Hartulistiyoso E, Yulianto M, Sigiyo F. 2014. Temperature Distribution of The Plastics Pyrolysis process to produce fuel at 450°C. The 5th Sustainable Future for Human Security (Sustain 2014). *Procedia Environmental Sciences* 28 (2015): 234 – 241.
- Lexy, J Moleong. (2008). Metodologi Penelitian Kualitatif. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Mursito J A, Sukadana I, Tenaya I, 2017. Perancangan dan Pengujian Alat Destilasi Minyak Dari Limbah Sampah Plastik. *Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA* Vol. 6 No. 4, Oktober 2017 (311 – 317).
- Naufan F. 2016. Desain Alat Pirolisis untuk Mengkonversi Limbah Plastik HDPE Menjadi Bahan Bakar [skripsi]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor.
- Ramadhan A, Ali M. 2012. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 4(1).
- Rodiansono, Trisunaryanti W, Triyono. 2007. Pembuatan, Karakteristik dan Uji Aktifitas Katalis NiMo/Z pada Reaksi Hidrorengka Menjadi Fraksi Bensin. *Berkala MIPA*. 17(2).
- Siddiqui M N, Redhwi HH. 2009. Pyrolysis of mixed plastic for the recovery of useful products. *Fuel Processing Technology*. 90:545-552. doi: 10.1016/j.fuproc.2009.01.003
- Sudirman, Ruslim. 2017. Pengaruh Jarak Antar Fin Pada Silinder Bersirip Terhadap Separasi Aliran Di Permukaan Silinder dan Fin. *Jurnal Reaktom*, Volume 02 Nomor 02 September 2017, 30-36.
- Sugiyono. 2011. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Bandung: Afabeta.
- Widodo, A. S. 2016. "Peningkatan Efisiensi Sistem Pemanasan dengan Penambahan Grid pada Perforated". *Jurnal Rekayasa Mesin*. vol. 7, no. 1, pp. 21–25.
- Wirapraja E, Dwiyanoro B A, 2014. Studi Eksperimental Efektivitas Penambahan Annular Fins Pada Kolektor Surya Pemanas Air Dengan Satu dan Dua Kaca Penutup. *JURNAL TEKNIK POMITS* Vol. 3, No. 2, (2014) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).