

PENGARUH PENAMBAHAN *FLAME PASSAGE COVER* PADA REAKTOR PIROLISIS TERHADAP PROSES PIROLISIS SAMPAH PLASTIK

Anggi Prasetyo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: anggi.18028@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Plastik merupakan salah satu jenis bahan yang cukup umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Masyarakat banyak mengambil manfaat dari fungsi plastik itu sendiri dalam berbagai bidang seperti industri makanan kemasan, perabotan rumah tangga, dan lain sebagainya. Hal tersebut mengakibatkan menumpuknya limbah hasil dari industri yang berupa sampah. Menumpuknya sampah plastik ini menjadi masalah besar dikarenakan sifat dari plastik itu sendiri yang sulit terurai. Pirolisis merupakan salah satu metode pengolahan sampah plastik sebagai solusi untuk mengurangi sampah plastik dengan cara mengubah sampah tersebut menjadi bahan bakar minyak. Salah satu masalah dari metode pirolisis yaitu rendahnya *heating rate* reaktor pirolisis yang selanjutnya berpengaruh pada efisiensi dari penggunaan metode tersebut. Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian tentang penambahan *flame passage cover* untuk mengoptimalkan *heating rate* pada reaktor pirolisis sehingga proses pirolisis dapat bekerja secara maksimal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis penelitian uji eksperimen (*experimental research*). Dengan mencari hubungan sebab akibat dari penambahan *flame passage cover* terhadap persebaran panas reaktor, kuantitas produk (*char*, minyak, dan *uncondensable gas*), dan kinerja reaktor pirolisis (daya kompor terpakai, efisiensi destilasi, dan efisiensi teknis proses pirolisis). Penambahan *flame passage cover* berpengaruh terhadap persebaran panas reaktor pirolisis, meningkatkan rata-rata suhu reaktor, dan mengurangi selisih suhu di setiap titik reaktor. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi teknis proses pirolisis sampah plastik yang ditunjukkan dengan perbedaan presentase efisiensi teknis tertinggi yaitu pada suhu variasi 350°C yaitu sebesar 3,92% tanpa menggunakan *flame passage cover* dan 5,98% dengan menggunakan *flame passage cover*.

Kata Kunci: *pyrolysis*, sampah plastik, reaktor, *flame passage cover*, persebaran panas.

Abstract

Plastic is one type of material that is quite common in everyday life. Many people benefit from the function of plastic itself in various fields such as the food packaging industry, household furniture, and so on. This resulted in the accumulation of industrial waste in the form of garbage. The accumulation of plastic waste is a big problem due to the nature of the plastic itself which is difficult to decompose. Pyrolysis is a method of processing plastic waste as a solution to reduce plastic waste by converting the waste into fuel oil. One of the problems of the pyrolysis method is the low heating rate of the pyrolysis reactor which in turn affects the efficiency of using the method. Therefore, researchers conducted research on the addition of flame passage covers to optimize the heating rate in pyrolysis reactors so that the pyrolysis process can work optimally. The method used in this study is a type of experimental research (*experimental research*). By looking for a causal relationship from the addition of a flame passage cover to the heat distribution of the reactor, product quantity (*char*, oil, and *uncondensable gas*), and pyrolysis reactor performance (used stove power, distillation efficiency, and technical efficiency of the pyrolysis process). The addition of the flame passage cover affects the heat distribution of the pyrolysis reactor, increases the average reactor temperature, and reduces the temperature difference at each reactor point. This can improve the technical efficiency of the pyrolysis process of plastic waste as indicated by the highest percentage difference in technical efficiency at a temperature variation of 350°C, which is 3.92% without using a flame passage cover and 5.98% using a flame passage cover.

Keywords: *pyrolysis*, plastic waste, reactor, *flame passage cover*, heat distribution.

PENDAHULUAN

Plastik adalah bahan penting bagi kehidupan manusia.

Selain relatif murah dan mudah didapat, sifat-sifatnya seperti ringan dan kuat, tahan korosi, transparan dan sifat isolasi yang baik membuat plastik ini banyak digunakan.

Berdasarkan data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2020, sampah plastik sendiri sejumlah 17,07% dari total jumlah sampah nasional yaitu $\pm 5.662.457$ ton. Hal tersebut berarti dalam sehari jumlah sampah plastik yang dihasilkan dalam skala nasional yaitu sekitar 15.513 ton. (SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, n.d.). Dihimpun dari SIPSN Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2021, dengan sampah tidak terkelola yang ada di Indonesia cukup besar. Presentasinya bahkan nyaris setengahnya, yaitu 40,59% atau sekitar 13.464.235,28 ton per tahun.

Negara-negara berkembang menghadapi kendala dalam perihal pengelolaan limbah karena ketergantungan pada sistem pengumpulan, transportasi, dan pembuangan. Pada 2030, dunia diperkirakan akan menghasilkan 2,59 miliar ton sampah setiap tahun dan diperkirakan akan mencapai 3,40 miliar ton pada tahun 2050, negara-negara berkembang diperkirakan akan meningkat 3 kali lipat sehingga pengelolaan sampah secara berkelanjutan disetiap negara harus dilakukan. (Rahim, 2020).

Al-Salem dkk (2009) menjelaskan bahwa kerusakan dapat diminimalkan dengan cara didaur ulang untuk memulihkannya atau menghasilkan produk lain yang bisa digunakan kembali. terdapat beberapa metode dalam mendaur ulang sampah plastik ini, antara lain daur ulang mekanis, daur ulang bahan baku, dan pemulihan energi.

Salah satu metode yang digunakan dalam pembahasan kali ini merupakan pengolahan dengan metode Feedstock recycling adalah Pirolisis adalah teknik pembakaran sampah (limbah plastik) tanpa O₂ dan dilakukan pada suhu tinggi 800-1000 °C. Teknologi ini mampu menghasilkan bahan bakar gas yang bermanfaat dan aman bagi lingkungan. Teknologi pirolisis ini dapat disebut sebagai metode ekologis karena produk akhirnya menghasilkan CO₂ dan H₂O yang merupakan gas tidak beracun. Proses pirolisis menghasilkan senyawa hidrokarbon cair dalam kisaran C₁-C₄ dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin. (Ermawati, 2011).

Menurut penelitian Anuar Sharuddin dkk. (2016) termasuk data beberapa jenis plastik yang dapat digunakan sebagai bahan baku pirolisis, polietilen tereftalat (PET), polietilen densitas tinggi (HDPE), polivinil klorida (PVC), polietilen densitas rendah (LDPE), polipropilen (PP), polistirena (PS), polietilen (PE), akrilonitril butadiena stirena (ABS), poliamida (PA), bahkan untuk polibutena tereftalat (PBT). Jenis plastik yang mudah ditemui di sekitar kita adalah jenis PET yang digunakan sebagai bahan baku botol air mineral, kemudian ada jenis LDPE yang digunakan sebagai bahan baku kantong plastik atau kantong plastik, dan terakhir tipe PP yang digunakan sebagai bahan baku yang digunakan untuk gelas air mineral.

Penelitian saat ini menunjukkan untuk mencapai temperatur reaktor yang diinginkan dibutuhkan waktu yang cukup lama. Penelitian Jefri Don (2021) menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 400°C lebih cepat jika menggunakan tabung pemanas ring-fin dibandingkan tanpa tabung pemanas ring-fin yaitu 150 menit dan 165 menit. Dalam

penelitian lain oleh Gabe (2015), waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 400°C hanya sekitar 52,3 menit. Dalam penelitian Jefri Don (2021), waktu yang cukup untuk mencapai temperatur yang diinginkan tentunya dapat mempengaruhi daya tembak yang digunakan, yang selanjutnya dapat mempengaruhi efisiensi teknis reaktor pirolisis. Menurut Mursito dkk (2017), berlaku hal sebagai berikut: semakin tinggi output tungku yang digunakan, semakin rendah nilai efisiensi teknis reaktor pirolisis. Oleh karena itu reaktor harus dimodifikasi agar distribusi temperatur menjadi lebih optimal, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur yang diinginkan tidak terlalu lama. Pada penelitian Jefri Don (2021) digunakan reaktor dengan diameter 320 mm. Ini patut mendapat perhatian lebih lanjut karena Kreith et al. (2011) panjang cairan padat dalam konduktor satu dimensi melalui media padat mempengaruhi nilai laju pemanasan. Selain itu, Armadi dkk (2017) menggunakan *cover* pada reaktor pirolisisnya agar mendapatkan proses perpindahan panas yang lebih efektif. Berdasarkan fakta-fakta yang telah dijelaskan di atas, maka penelitian ini lebih terfokus ke pirolisis sampah plastik, penulis merancang sebuah alat pirolisis dengan *flame passage cover* berdiameter kecil, untuk bertujuan mengoptimalkan waktu proses pemanasan tungku pirolisis. Mengurangi untuk mencapai suhu waktu yang dibutuhkan dalam penelitian dan meningkatkan kinerja reaktor pirolisis.

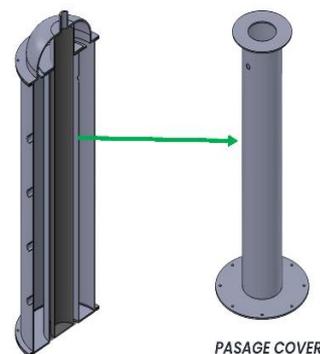
METODE

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan menggunakan penelitian eksperimen (experimental research). Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan *flame passage cover* terhadap distribusi panas reaktor pirolisis, jumlah produk pirolisis (batubara, minyak dan gas yang tidak dapat terkondensasi) dan kinerja tungku pirolisis (konsumsi tungku, efisiensi dan teknis distilasi). . efisiensi proses pirolisis), yang kemudian mempengaruhi kinerja reaktor pirolisis. Penelitian ini dilaksanakan dalam peralatan dan kondisi yang telah disesuaikan.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengembangan tungku pirolisis dengan penambahan *flame passage cover* pada reaktor pirolisis.



Gambar 1. *Passage Cover*

Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

- Distribusi panas reaktor pirolisis.
- Jumlah produk pirolisis (batubara, minyak dan gas yang tidak dapat terkondensasi).
- Kinerja reaktor pirolisis (daya tungku yang dikonsumsi, efisiensi distilasi dan efisiensi teknis proses pirolisis).

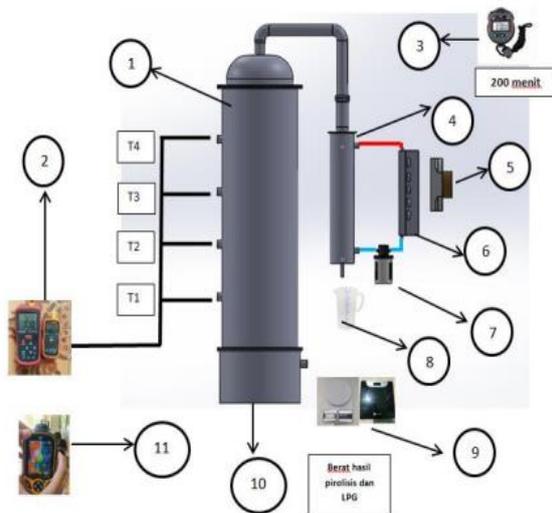
Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Bahan bakarnya adalah bahan bakar gas cair (LPG).
- Plastik yang digunakan dalam pengujian PET (polyethylene terephthalate).
- Pada proses pendinginan digunakan kondensor dengan volume air 17,8 liter pada counterflow.
- Keluaran pompa 4 liter per menit.
- Perlakuan temperatur reaktor 250°C, 300°C dan 350°C.
- Data dikumpulkan selama 200 menit.

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Rancangan alat pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu tungku, reaktor dan kondensor.

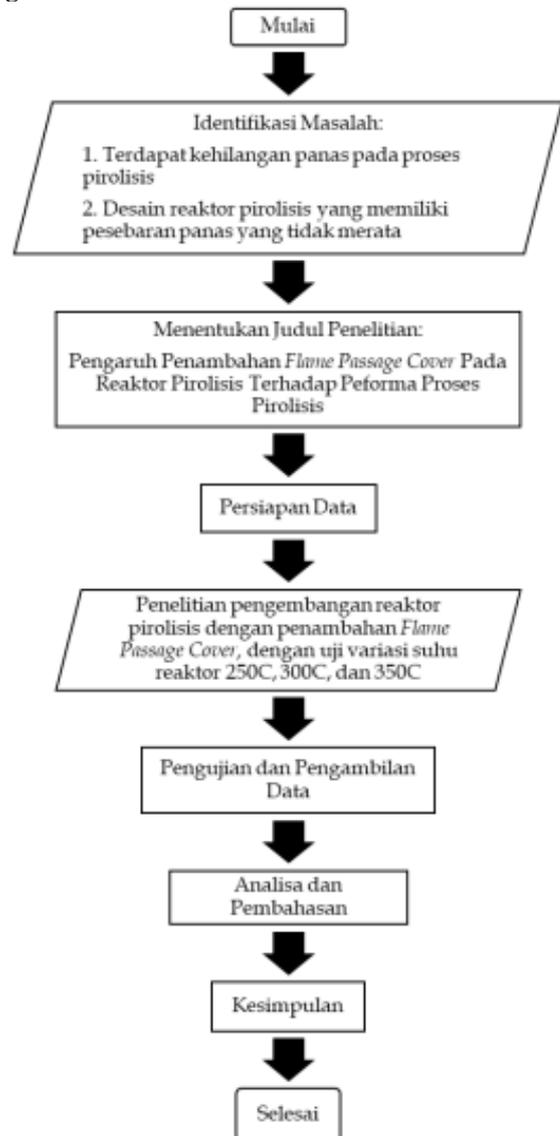


Gambar 2. Skema Proses Pirolisis

Keterangan gambar :

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

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian. Data yang terkumpul ditentukan oleh variabel-variabel yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada penelitian ini teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara mengukur atau menguji objek penelitian dan mencatat hasilnya.

Teknik Analisa Data

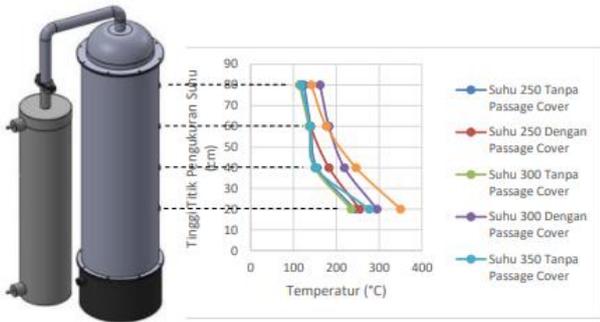
Analisis penelitian ini dilakukan dengan menghitung secara teoritis data yang tertera pada meteran, yang kemudian dimasukkan ke dalam tabel. Selain itu, data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar kesimpulan lebih mudah dan mudah dipahami. Tujuan dari analisis data ini adalah untuk memberikan informasi tentang kinerja alat yang paling optimal, hubungan antara variabel dan fenomena apa yang terjadi pada objek selama pengujian ketika mempelajari efek *flame passage cover* ke reaktor pirolisis. Proses pirolisis limbah plastik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Proses pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali kemudian pada proses analisisnya diambil rata-rata. Hal ini bertujuan supaya diperoleh data dengan tingkat ketepatan yang tinggi sesuai dengan kondisi yang terjadi. Selain itu hal tersebut dilakukan agar menghindari kesalahan dalam pembacaan nilai. Data diperoleh dari pengujian pengaruh penambahan *flame passage cover* pada reaktor pirolisis dengan memvariasikan suhu reaktor sebesar 250°C, 300°C dan 350°C.

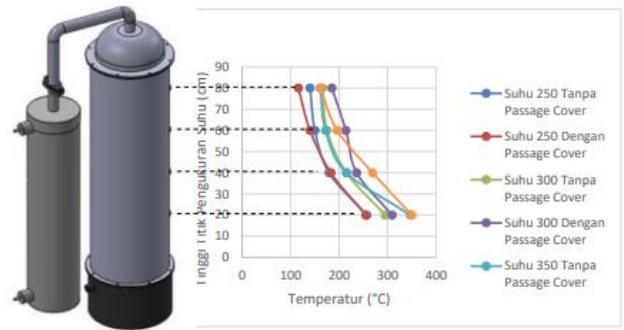
- Sebaran Suhu Pada Menit Tertentu
 - Persebaran Suhu Pada Reaktor Pirolisis Menit 100



Gambar 4. Grafik Sebaran Suhu Reaktor Saat Menit Ke-100

Berdasarkan gambar diatas merupakan sebaran suhu di empat titik pengukuran reaktor pada tiap-tiap variasi suhu tanpa dan dengan menggunakan *flame passage cover* pada saat menit ke-100. Pada reaktor tanpa menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 250°C, didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 243°C, 155°C, 140°C, dan 125°C. Untuk reaktor dengan menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 250°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 255°C, 183°C, 140°C, dan 116°C. Untuk reaktor tanpa menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 300°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 235°C, 150°C, 136°C, dan 114°C. Untuk reaktor dengan menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 300°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 295°C, 219°C, 183°C, dan 162°C. Untuk reaktor tanpa menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 350°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 277°C, 153°C, 139°C, dan 117°C. Untuk reaktor dengan menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 350°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 350°C, 246°C, 177°C, dan 142°C.

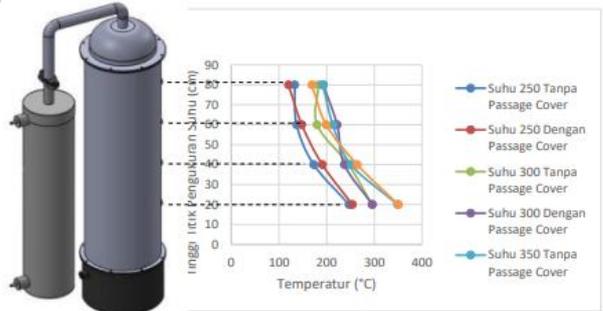
- Persebaran Suhu Pada Reaktor Pirolisis Menit 150



Gambar 5. Grafik Sebaran Suhu Reaktor Saat Menit Ke-150

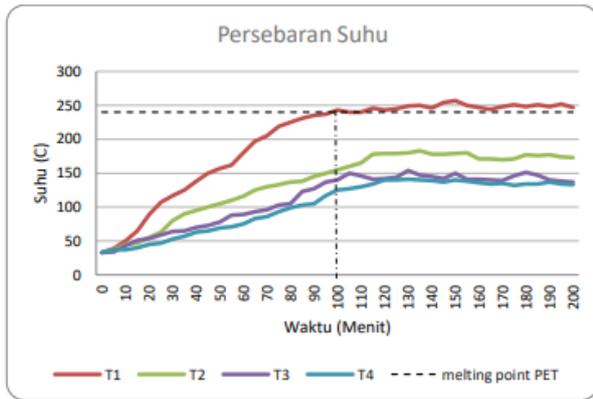
Berdasarkan gambar diatas merupakan sebaran suhu di empat titik pengukuran reaktor pada tiap-tiap variasi suhu tanpa dan dengan menggunakan *flame passage cover* pada saat menit ke-100. Pada reaktor tanpa menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 250°C, didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 257°C, 179°C, 150°C, dan 140°C. Untuk reaktor dengan menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 250°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 265°C, 192°C, 149°C, dan 124°C. Untuk reaktor tanpa menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 300°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 295°C, 215°C, 175°C, dan 166°C. Untuk reaktor dengan menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 300°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 309°C, 236°C, 214°C, dan 185°C. Untuk reaktor tanpa menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 350°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 347°C, 215°C, 172°C, dan 161°C. Untuk reaktor dengan menggunakan *flame passage cover* dengan variasi suhu 350°C didapatkan nilai T1, T2, T3, dan T4 berturut-turut sebesar 350°C, 269°C, 196°C, dan 161°C.

- Persebaran Suhu Pada Reaktor Pirolisis Menit 200

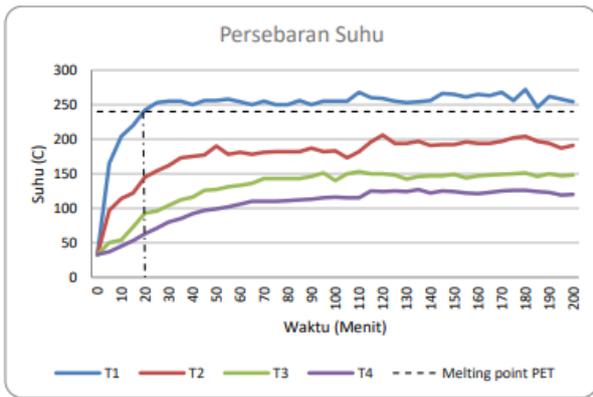


Gambar 6. Grafik Sebaran Suhu Reaktor Pada Saat Menit Ke-200

- Sebaran Suhu Reaktor Pada Setiap Variasi Suhu
- Sebaran Suhu Reaktor Pada Variasi Suhu 250°C



(a)

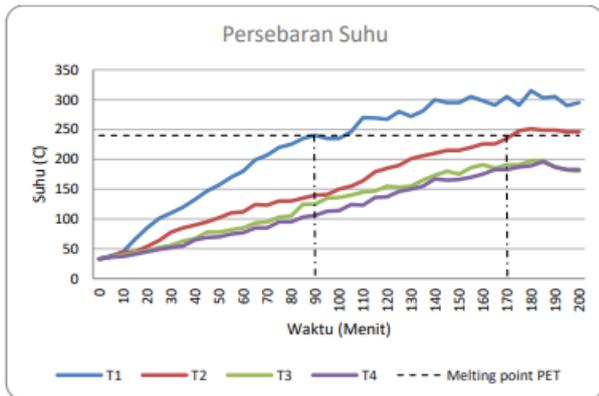


(b)

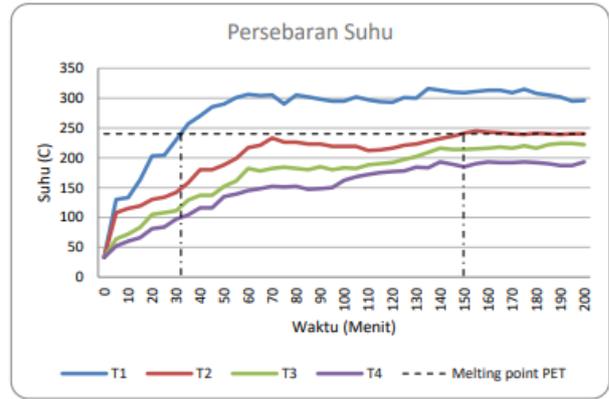
Gambar 7. Grafik Sebaran Suhu Reaktor Pada Variasi Suhu 250°C (a) Grafik Pesebaran Suhu Tanpa Flame Passage Cover, (b) Grafik Pesebaran Suhu Dengan Flame Passage Cover.

Terlihat bahwa T1 reaktor yang menggunakan *flame passage cover* dapat mencapai suhu yang dibutuhkan untuk plastik jenis PET mencapai melting point 240°C dengan waktu 20 menit, yang mana lebih cepat dari reaktor yang tidak menggunakan *flame passage cover* yaitu 100 menit.

- Sebaran Suhu Reaktor Pada Variasi Suhu 300°C



(a)

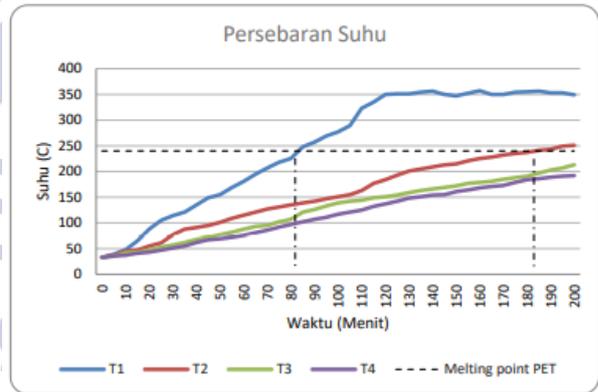


(b)

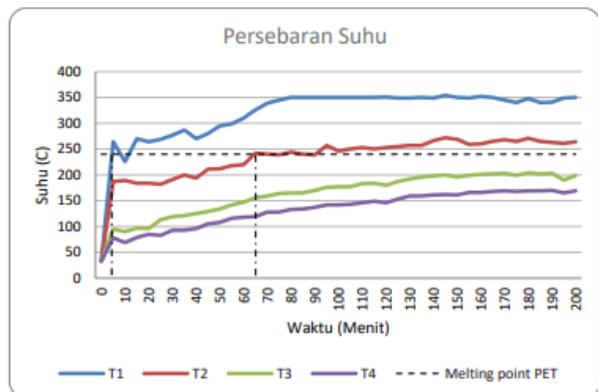
Gambar 8. Grafik Sebaran Suhu Reaktor Pada Variasi Suhu 300°C. (a) Grafik Pesebaran Suhu Tanpa Flame Passage Cover, (b) Grafik Pesebaran Suhu Dengan Flame Passage Cover.

Terlihat bahwa T1 reaktor yang menggunakan *flame passage cover* dapat mencapai suhu yang dibutuhkan untuk plastik jenis PET mencapai melting point 240°C dengan waktu 35 menit, yang mana lebih cepat dari reaktor yang tidak menggunakan *flame passage cover* yaitu 90 menit. Sedangkan pada T2 reaktor yang menggunakan *flame passage cover* dapat mencapai suhu yang dibutuhkan untuk plastik jenis PET mencapai melting point 240°C dengan waktu 150 menit, yang mana lebih cepat dari reaktor yang tidak menggunakan *flame passage cover* yaitu 170 menit

- Sebaran Suhu Reaktor Pada Variasi Suhu 350°C



(a)



(b)

Gambar 9. Grafik Sebaran Suhu Reaktor Pada Variasi Suhu 350°C. (a) Grafik Pesebaran Suhu Tanpa Flame Passage Cover, (b) Grafik Pesebaran Suhu Dengan Flame Passage Cover.

Terlihat bahwa T1 reaktor yang menggunakan *flame passage cover* dapat mencapai suhu yang dibutuhkan untuk plastik jenis PET mencapai melting point 240°C dengan waktu 5 menit, yang mana lebih cepat dari reaktor yang tidak menggunakan *flame passage cover* yaitu 80 menit. Sedangkan pada T2 reaktor yang menggunakan *flame passage cover* dapat mencapai suhu yang dibutuhkan untuk plastik jenis PET mencapai melting point 240°C dengan waktu 65 menit, yang mana lebih cepat dari reaktor yang tidak menggunakan *flame passage cover* yaitu 185 menit.

• Produk Hasil Pirolisis

NO	Suhu (°C)	Reaktor	Massa Plastik (gram)	Char Padat (gram)	Uncond ensable Gas (gram)	Kondensat (gram)
1	250	Tanpa <i>flame passage cover</i>	1500	625,34	838,06	36,6
		Dengan <i>flame passage cover</i>	1500	605,08	842,82	52,1
2	300	Tanpa <i>flame passage cover</i>	1500	587,1	852,9	60
		Dengan <i>flame passage cover</i>	1500	523,93	907,87	68,2
3	350	Tanpa <i>flame passage cover</i>	1500	453,43	974,37	72,2
		Dengan <i>flame passage cover</i>	1500	416	988,7	95,3

Gambar 10. Hasil Pirolisis.

Data yang didapat pada gambar diatas menjelaskan bahwa jumlah kondensat pirolisis PET tertinggi terdapat pada saat suhu reaktor sebesar 350°C dengan menggunakan *flame passage cover* dan terendah pada suhu 250°C tanpa menggunakan *flame passage cover*, 95,3 gram dan 36,6 gram masing-masing. Kadar gas tidak terkondensasi tertinggi pada suhu 350 °C dengan *flame passage cover* dan kadar gas tidak dapat terkondensasi terendah pada suhu 250 °C tanpa penutup *flame passage cover*. Maka jumlah fixed carbon maksimum pada suhu 250°C dan paling sedikit pada suhu 350°C. Kinerja Reaktor Pirolisis

• Daya Kompor Terpakai

Hasil perhitungan daya kompor terpakai pada variasi-variasi suhu dan pengaruh penambahan

flame passage cover dapat dilihat pada gambar berikut.

NO	Suhu (°C)	Reaktor	Masa LPG awal (kg)	Massa LPG akhir (kg)	Massa LPG terpakai (kg)	Daya Kompor (l)
1	250	Tanpa <i>flame passage cover</i>	8,45	6,86	1,17	4522,1
		Dengan <i>flame passage cover</i>	8,37	6,94	1,281	4951,1
2	300	Tanpa <i>flame passage cover</i>	8,34	6,57	1,21	4676,7
		Dengan <i>flame passage cover</i>	8,42	6,69	1,545	5971,4
3	350	Tanpa <i>flame passage cover</i>	8,55	6,38	1,98	7652,7
		Dengan <i>flame passage cover</i>	8,49	6,55	1,716	6632,3

Gambar 11. Daya Kompor Terpakai

• Efisiensi Destilasi

Perhitungan efisiensi destilasi pada variasi-variasi suhu dan pengaruh penambahan *flame passage cover* dapat dilihat pada gambar berikut.

NO	Suhu (°C)	Reaktor	Berat Basah (gram)	Berat kering (gram)	Efisiensi Destilat (%)
1	250	Tanpa <i>flame passage cover</i>	1500	625	58,3333
		dengan <i>flame passage cover</i>	1500	605	59,9167
2	300	Tanpa <i>flame passage cover</i>	1500	587	60,87
		dengan <i>flame passage cover</i>	1500	574	61,73
3	350	Tanpa <i>flame passage cover</i>	1500	569	62,07
		dengan <i>flame passage cover</i>	1500	543	63,80

Gambar 12. Efisiensi Destilasi

• Efisiensi Teknis

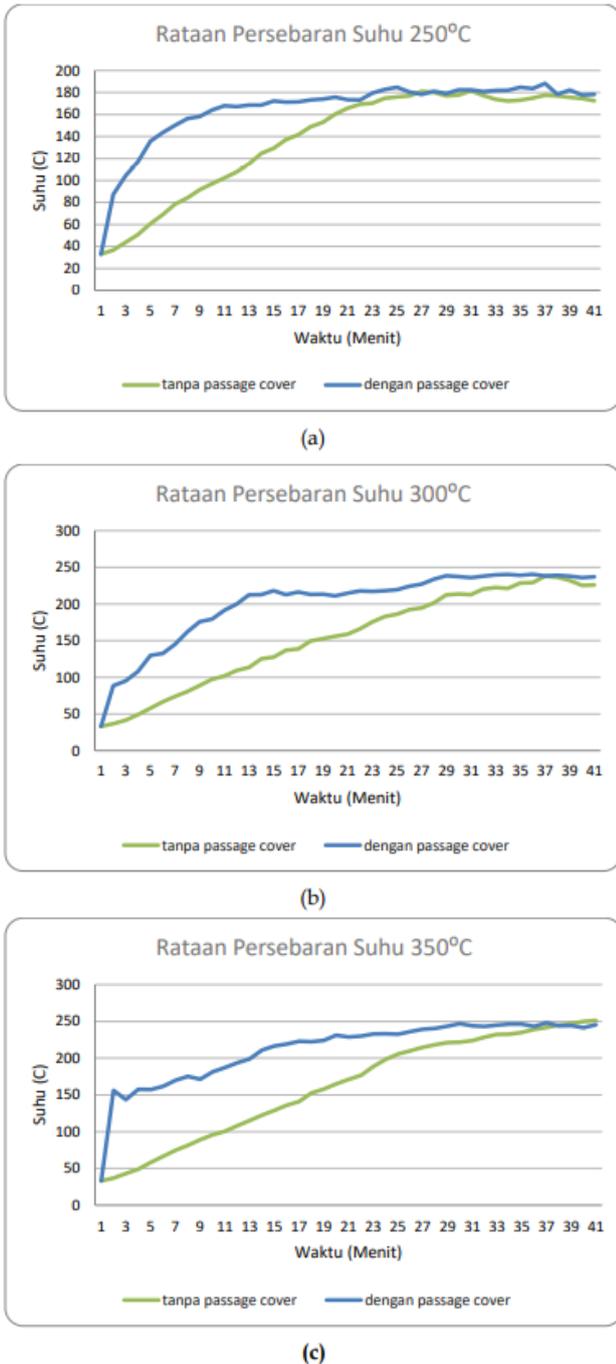
Perhitungan efisiensi teknis pada variasi-variasi suhu dan pengaruh penambahan *flame passage cover* dapat dilihat pada gambar berikut.

Suhu (°C)	Reaktor	Efisiensi Teknis
250 °C	Tanpa <i>flame passage cover</i>	3,36
	Dengan <i>flame passage cover</i>	4,37
300 °C	Tanpa <i>flame passage cover</i>	5,33
	Dengan <i>flame passage cover</i>	4,74
350 °C	Tanpa <i>flame passage cover</i>	3,92
	Dengan <i>flame passage cover</i>	5,97

Gambar 13. Efisiensi Teknis

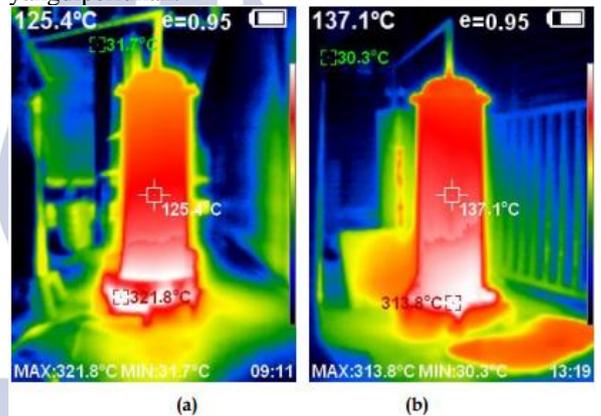
Pembahasan

- Pengaruh Penggunaan *Flame Passage Cover* Terhadap Sebaran Suhu Pada Reaktor Pirolisis



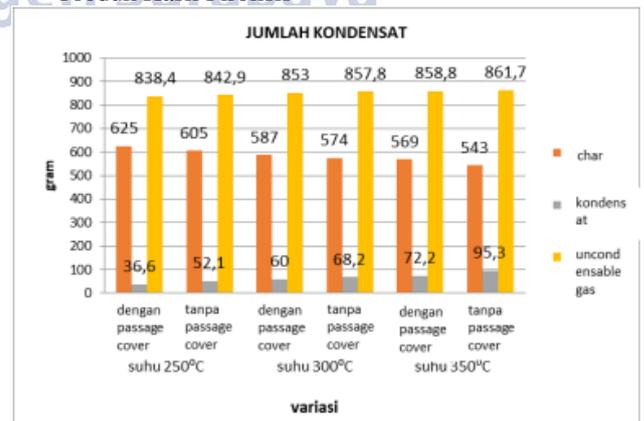
Gambar 14. Grafik Rata-Rata Suhu Reaktor (a) Rataan Suhu Reaktor 250°C, (b) Rataan Suhu Reaktor 300°C, Dan (c) Rataan Suhu Reaktor 350°C Rata-rata suhu reaktor suhu di empat titik pengukuran reaktor, perbandingan antara rata-rata suhu dengan penambahan *flame passage cover* dan tanpa menggunakan *flame passage cover* serta variasi suhu 250°C, 300°C, dan 350°C. Pada suhu 250°C rata-rata suhu reaktor dengan *flame passage cover* dan tanpa *flame passage cover* mampu mencapai rata-rata suhu maksimum masing-masing 188,25°C dan 181,5°C.

Pada suhu 300°C rata-rata suhu reaktor dengan *flame passage cover* dan *flame passage cover* mampu Mencapai suhu maksimum rata-rata 240,5°C dan 238°C. Pada suhu 350 °C, suhu rata-rata reaktor dengan *flame passage cover* dan tanpa passage cover dapat mencapai suhu maksimum rata-rata 248 °C dan 251,25 °C. Penambahan passage cover pada reaktor pirolisis mempengaruhi distribusi suhu reaktor pirolisis. Hal ini terlihat dari kenaikan suhu rata-rata reaktor pirolisis dan kenaikan suhu pada titik-titik pengukuran suhu di dalam reaktor. Penambahan *flame passage cover* menghasilkan distribusi panas yang lebih cepat di dalam reaktor. Kenaikan temperatur rata-rata reaktor pirolisis disebabkan perpindahan panas tidak hanya terjadi melalui kontak api langsung dengan dasar bejana plastik. Tetapi juga melalui *flame passage cover*, yang membiarkan api masuk dan menyentuh wadah plastik hingga ketinggian tertentu. Dengan bantuan passage cover, itu menciptakan api dari tungku dan dapat mempercepat reaktor untuk mencapai suhu reaksi yang diperlukan.



Gambar 15. Distribusi Panas Reaktor (a) Dengan *Flame Passage Cover* (b) Tanpa *Flame Passage Cover* Gambar sebaran panas pada reaktor pirolisis diambil dengan kamera thermal imaging, tidak terdapat perbedaan derajat suhu yang signifikan pada masing-masing perlakuan. Namun, dengan *flame passage cover*, ada panas yang menyebar dengan lebih baik.

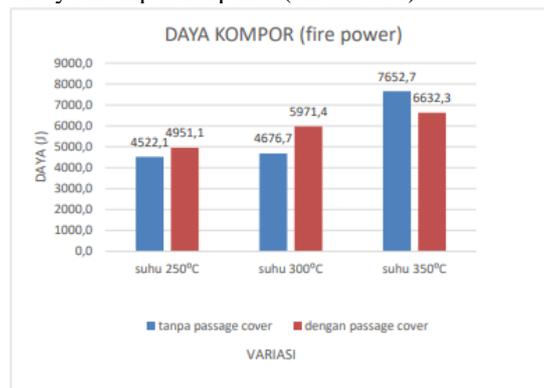
- Pengaruh Penggunaan *flame passage cover* Terhadap Produk Hasil Pirolisis



Gambar 16. Bagan Jumlah Kondensat

semakin tinggi suhu yang digunakan pada reaktor maka semakin banyak gas dan minyak yang dihasilkan. Juga menunjukkan semakin tinggi suhu yang digunakan pada reaktor maka residu char padat yang dihasilkan semakin berkurang. Penggunaan *flame passage cover* berpengaruh terhadap jumlah kondensat yang dihasilkan. Dimana pada suhu 250°C hasil kondensat dengan penggunaan *flame passage cover* lebih banyak dibandingkan dengan tanpa menggunakan *flame passage cover*. Masing-masing sejumlah 36,6 gram dan 52,1 gram. Pada suhu 300°C masing-masing 60 dan 68,2 gram. Pada suhu 350°C masing-masing sejumlah 72,2 dan 95,3 gram. Meskipun selisih jumlah kondensat yang dihasilkan tidaklah banyak. Peningkatan juga terjadi pada jumlah gas yang dihasilkan dimana selain meningkat berdasarkan suhu reaktor penggunaan *flame passage cover* juga menunjukkan tren naik. Dimana pada suhu 250°C hasil uncondensable gas dengan penggunaan *flame passage cover* lebih banyak dibandingkan tanpa *flame passage cover*. Keduanya menghitung 838,4 gram dan 842,9 gram. Pada 300°C 853 gram dan 857,8 gram. Pada suhu 350°C jumlahnya masing-masing adalah 858,8 dan 861,7 gram. Pertambahan jumlah kondensat cair dan gas yang tidak dapat terkondensasi berbanding terbalik dengan jumlah proporsional penurunan gas, kondensat padat. Dimana menggunakan *flame passage cover* memberikan hasil yang lebih baik. Perbedaan jumlah kondensat yang dihasilkan karena distribusi suhu reaktor merupakan salah satu faktor dalam proses pirolisis. Feng (2010) menyatakan bahwa kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan pada proses pirolisis dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti tipe reaktor, temperatur dan waktu tinggal di dalam reaktor, tekanan operasi dan penggunaan katalis. Seperti Feng (2010), penelitian Andyaaan (2018) juga menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan, semakin banyak gas atau partikulat yang dihasilkan oleh proses pirolisis. Dari hasil penelitian diketahui bahwa nilai gas yang tidak terkondensasi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan gas yang berhasil terkondensasi, hal ini menunjukkan bahwa kondensator yang digunakan tidak efektif dalam menyelesaikan proses kondensasi.

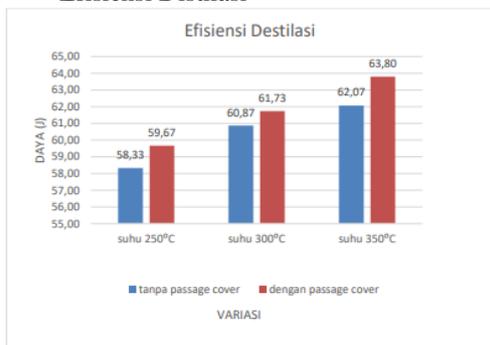
- Pengaruh Penggunaan *flame passage cover* Terhadap Kinerja Reaktor Pirolisis.
 - Daya Kompom Terpakai (Fire Power)



Gambar 17. Bagan Daya Kompom

Semakin tinggi suhu yang dicapai maka fire power akan semakin meningkat. Pada perlakuan tanpa penggunaan *flame passage cover* kenaikan terjadi dari suhu 250°C, 300°C menuju 350°C masing-masing senilai 4522,1 J, 4676,7 J, dan 7652,7 J. Pada perlakuan *flame passage cover* kenaikan terjadi dari suhu 250°C, 300°C menuju 350°C masing-masing senilai 4951,1 J, 5971,4 J, dan 6632,3 J. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang ingin dicapai maka semakin tinggi daya kompor yang dibutuhkan. Penelitian Pengaruh penggunaan *flame passage cover* terhadap proses pirolisis ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan daya kompor yang terpakai antara menggunakan *flame passage cover* dan tanpa menggunakan *flame passage cover*. Dimana pada suhu 250°C dengan menggunakan *flame passage cover* senilai 4951,1 J dan tanpa *flame passage cover* senilai 4522,1 J. dengan suhu 300°C dengan menggunakan *flame passage cover* senilai 5971,4 J dan tanpa *flame passage cover* senilai 4676,7 J. Pada suhu 350°C dengan menggunakan *flame passage cover* senilai 6632,3 J dan tanpa *flame passage cover* senilai 7652,7 J. Penggunaan *flame passage cover* mampu mereduksi fire power dikarenakan mampu meningkatkan sebaran suhu ke reaktor dan mempercepat waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur reaktor yang diinginkan. Waktu untuk mencapai suhu 250°C, 300°C, dan 350°C pada penggunaan *flame passage cover* yaitu 25 menit, 55 menit, dan 80 menit lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan *flame passage cover* yang mana suhu yang dibutuhkan tercapai pada waktu 135 menit, 140 menit, dan 120 menit. Perlu diperhatikan bahwa daya tembak dalam penelitian ini berlebihan karena banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan reaktor ke suhu yang diinginkan.

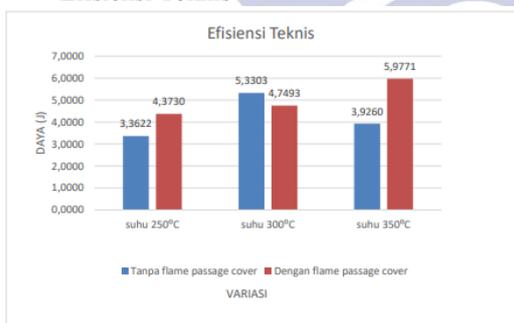
• Efisiensi Distilasi



Gambar 18. Bagan Efisiensi Destilasi

Nilai terendah efisiensi destilat terdapat pada suhu 250°C *unflame passage cover* sebesar 58,33% dengan nilai tertinggi terdapat pada temperatur 350°C dengan *flame passage cover* sebesar 63,80%. Terdapat tren naiknya nilai efisiensi destilat berdasarkan kenaikan suhu reaktor dari suhu 250°C hingga suhu 350°C, dan menunjukkan bahwa penggunaan *flame passage cover* mampu meningkatkan efisiensi destilat pada setiap perlakuan suhu. Pada suhu 250 °C, perlakuan dengan *flame passage cover* meningkatkan efisiensi destilat dari 58,33% menjadi 59,67%. Perlakuan suhu 300°C dengan menggunakan *flame passage cover* meningkatkan efisiensi destilat dari 60,87% menjadi 61,73%. Dan pada suhu 350°C, perlakuan dengan *flame hood* meningkatkan efisiensi distilasi dari 62,07% menjadi 63,80%. Peningkatan efisiensi distilasi disebabkan oleh distribusi suhu yang lebih baik di dalam reaktor. Sehingga proses penguraian plastik berjalan lebih baik.

• Efisiensi Teknis



Gambar 19. Bagan Efisiensi Teknis

Efisiensi teknis meningkat dengan meningkatnya suhu reaktor. Nilai maksimum ditemukan pada 350°C menggunakan *flame passage cover*. Peningkatan efisiensi teknis ini disebabkan oleh peningkatan jumlah distilasi ketika suhu reaktor meningkat. Namun, rasio poin efisiensi teknisnya terlalu rendah, nilai maksimalnya hanya 5,98%. Nilai terendah terdapat pada suhu 250 °C tanpa zat penghambat api sebesar 3,36%. Penggunaan saluran nyala juga mempengaruhi efisiensi teknis, karena peningkatan distribusi temperatur reaktor merupakan salah satu faktor yang meningkatkan

jumlah kondensasi. Sehingga Grafik Efisiensi Teknis menunjukkan bahwa persentase energi yang digunakan dalam proses distilasi lebih besar dari energi yang dapat dihasilkan, dalam hal ini perbandingannya adalah minyak destilat. Ini karena energi yang dibutuhkan untuk memanaskan reaktor tinggi.

PENUTUP

Simpulan

- Penambahan *flame passage cover* pada reaktor pirolisis mempengaruhi distribusi panas reaktor pirolisis, meningkatkan temperatur rata-rata reaktor dan menurunkan perbedaan temperatur pada setiap titik reaktor. Pada suhu 250°C rata-rata suhu reaktor dengan *flame passage cover* dan tanpa *flame passage cover* mampu mencapai rata-rata suhu maksimum masing-masing 188,25°C dan 181,5°C. Pada suhu 300°C rata-rata suhu reaktor dengan *flame passage cover* dan tanpa *flame passage cover* mampu mencapai rata-rata suhu maksimum masing-masing 240,5°C dan 238°C. dengan temperatur 350°C rata-rata suhu reaktor dengan *flame passage cover* dan tanpa *flame passage cover* mampu mencapai rata-rata suhu maksimum masing-masing 248°C dan 251,25°C.
- Penggunaan *flame passage cover* Pengaruh pada jumlah kondensat yang dihasilkan. Pada suhu 250°C hasil kondensat lebih tinggi dengan *flame passage cover* dibandingkan tanpa *flame passage cover*. Masing-masing bilangan 36,6 gram dan 52,1 gram Pada suhu 300°C 60 dan 68,2 gram Pada suhu 350°C jumlahnya masing-masing adalah 72,2 dan 95,3 gram.
- Menambahkan *flame passage cover* ke Reaktor Pirolisis mempengaruhi kinerja Reaktor Pirolisis. Mengurangi konsumsi tungku, meningkatkan efisiensi distilasi dan efisiensi teknis proses pirolisis. Namun penelitian ini menunjukkan bahwa persentase energi yang digunakan dalam proses distilasi lebih besar dari energi yang dapat dihasilkan, dalam hal ini perbandingannya adalah minyak destilat.

Saran

- Investigasi kondensor lebih lanjut diperlukan untuk membuat proses kondensasi pirolitik lebih efisien.
- Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang bahan plastik yang digunakan.
- Sebelum melakukan studi lebih lanjut, perlu dilakukan modifikasi reaktor sesuai desain reaktor, penerapan konsep perpindahan panas yang lebih efisien, penggunaan material dengan konduktivitas termal yang baik, dan pengurangan ketebalan dinding dan dasar reaktor. Reaktor.
- Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan bahan bakar untuk proses pirolisis yang lebih efisien.
- Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mempertimbangkan penggunaan isolator untuk meningkatkan efisiensi proses pirolisis

DAFTAR PUSTAKA

- Andrady, A. L. (2003). Common Plastics Materials. In *Plastics and the Environment*.
- Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326.
- Ariani, A., & ENR, A. (2015). Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Menjadi Produk Fungsional Bernilai Estetik. *Kaji Tindak Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, 2(2), 44–55.
- Armadi, B. H., Rangkuti, C., Fauzi, M. D., & Permatasari, R. (2017). The effect of cover use on plastic pyrolysis reactor heating process. AIP Conference Proceedings, 1826(October).
- Bahng, M. K., Mukarakate, C., Robichaud, D. J., & Nimlos, M. R. (2009). Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: A review. *Analytica Chimica Acta*, 651(2), 117–138.
- Berrueta, V. M., Edwards, R. D., & Maser, O. R. (2008). Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico. *Renewable Energy*, 33(5), 859–870.
- Boles, A. M., & Cengel, A. Y. (2008). Engineering Thermodynamics. *Journal of Latinos and Education*, 7(2), 92–93.
- Cepeliogullar, O., & E. Putun, A. (2000). Utilization of Two Different Types of Plastic Wastes from Daily and Industrial Life. *Journal of Selcuk University Natural and Applied Science*, 694–706.
- Doni, J. (2021). Pengaruh Penambahan Pipa Pemanas Dengan Annular Fin Pada Plastik. 2009.
- Elorf, A., Kandasamy, J., Beldandria, V., Bostyn, S., Sarh, B., & Gökalp, I. (2021). Heating rate effects on pyrolysis, gasification and combustion of olive waste. *Biofuels*, 12(9), 1157–1164.
- Ermawati, R. (2011). 138-428-1-PB257-263.pdf.
- Fakhrhoseini, S. M., & Dastanian, M. (2013). Predicting pyrolysis products of PE, PP, and PET using NRTL activity coefficient model. *Journal of Chemistry*, 2013, 7–9.
- Gabe, F. A. P. A. (2015). Analisa termal pada rancang bangun reaktor pirolisis untuk memproduksi bahan bakar minyak dari limbah plastik. *Teknik Mesin Dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Bogor*.
- Hangabi, R. (2018). Modifikasi reaktor pada alat pirolisis plastik. *Teknik Mesin Dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Bogor*.
- Hartulistiyoso, E., Sigiyo, F. A. P. A. G., & Yulianto, M. (2015). Temperature Distribution of the Plastics Pyrolysis Process to Produce Fuel at 450oC. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 234–241.
- Holman, V. (2009). Heat Transfer (Tenth edition). *Visual Resources*, 15(3), ix–x.
- Anonim. (2020). How to make sense of Plastic by Numbers, <https://everydayrecycler.com/plastic-by-numbers/>, diakses pada 2 Februari 2021 pukul 21.35
- Incopera, F., Dewitt, D., Bergman, T., & Lavine, A. (2007). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. In *Fluid Mechanics and its Applications* (Vol. 112).
- Iswadi, D., Nurisa, F., & Liastuti, E. (2017). Pemanfaatan sampah plastik LDPE dan PET menjadi bahan bakar minyak dengan proses pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(2), 1–9.
- Kreith, F., M. Manglik, R., & S. Bohn, M. (2011). Principles of Heat Transfer. *Applied Mechanics Reviews*, 55(5), B100–B102.
- Moleong, L. J. (2014). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. 1(hal 140), 43.
- Mursito, J. A., Sukadana, G. K., Ngurah, G., Tenaya, P., Jimbaran, B., & Abstrak, B. (2017). Perancangan dan Pengujian Alat Destilasi Minyak Dari Limbah Sampah Plastik. In *Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA* (Vol. 6, Issue 4).
- Seaman, Greg. (2020). Plastics by the Numbers, <https://learn.eartheasy.com/articles/plastics-by-the-numbers/>, diakses pada 13 Mei 2022 pukul 16.40
- Purwaningrum, P. (2016). UPAYA MENGURANGI TIMBULAN SAMPAH PLASTIK DI LINGKUNGAN. *INDONESIAN JOURNAL OF URBAN AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, 8(2), 141.
- Rachman Aji, Z. (2008). Studi pengaruh kondisi pengujian tarik pada film plastik bopp (Biaxial Oriented Polypropylene) = Study the effect of tensile testing condition on bopp (Biaxial Oriented Polypropylene) plastic film. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Rahim, M. (2020). STRATEGI PENGELOLAAN SAMPAH BERKELANJUTAN. *JURNAL SIPIL SAINS*, 10(1).
- Santoso, J. (2010). Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari Sampah Plastik. In *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta*.
- Shrivastava, A. (2018). Polymerization. *Introduction to Plastics Engineering*, 17–48.
- SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. (2021). Data Pengelolaan Sampah & RTH, <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi> si diakses pada 4 Desember 2021 pukul 13.41
- Sugiyono. (2010). prof. dr. sugiyono, metode penelitian kuantitatif kualitatif dan r&d. intro (PDFDrive).pdf. In *Bandung Alf* (p. 143).
- Sumarni, & Purwanti, A. (2008). Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *Jurnal Teknologi*, 1(2), 135–140.
- Wicaksono, M. A., & Arijanto. (2017). Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet(Polyethylene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 9–15.
- Widodo, A. S. (2016). Improvement of Heating System Efficiency by Adding Grid to Perforated Burner. *Jurnal Rekayasa Mesin Tahun*, 7(1), 21–25.
- Yen, Y.-C. (1984). *Styrene and p-Methylstyrene and Polymers*. November.