

REDESAIN ALAT PIROLISIS PENGUBAH SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR CAIR

Moh. Arif Batutah^{1*}, Yayan Noer Vianto²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya
Jl. Sutorejo No. 59, Surabaya, Indonesia

*email : moh.arif.batutah@um-surabaya.ac.id

(Received: 10-02-2024; Reviewed: 25-02-2024; Accepted: 17-03-2024)

Abstrak

Sampah plastik menjadi salah satu kendala besar yang sedang dihadapi oleh dunia pada saat ini, tidak terkecuali di kota-kota besar yang ada di Indonesia, hal ini disebabkan salah satunya oleh maraknya penggunaan barang-barang yang berasal dari plastik sekali pakai, seperti halnya penggunaan kemasan makanan yang menggunakan plastik. Pirolisis merupakan dekomposisi kimia melalui pemanasan tanpa atau sedikit oksigen dimana limbah plastik dipanaskan pada suhu yang tinggi diatas 175°C sehingga fasenya akan berubah menjadi gas dan kemudian akan terjadi proses perengkahan. Pembuatan desain baru alat pirolisis ini bertujuan untuk meningkatkan mutu dari alat pirolisis yang sudah ada sebelumnya, baik dari segi pengoperasian ataupun efisiensi alat pirolisis. Dalam penelitian ini perancangan alat pirolisis dibuat dengan desain yang sederhana dan juga terbuat dari material yang mudah didapatkan. perbedaan utama desain baru ini terletak pada bagian kondensor, uap dari reaktor pirolisis dialirkan sebanyak dua kali melewati kondensor untuk memisahkan kualitas bahan bakar dari hasil pirolisis.

Kata Kunci: Pirolisis, kondensor, plastik, bahan bakar cair.

1. PENDAHULUAN

Sampah plastik menjadi salah satu kendala besar yang sedang dihadapi oleh dunia pada saat ini, tidak terkecuali di kota-kota besar yang ada di Indonesia, hal ini disebabkan salah satunya oleh maraknya penggunaan barang-barang yang berasal dari plastik sekali pakai, seperti halnya penggunaan kemasan makanan yang menggunakan plastik. Berdasarkan riset terbaru dari Universitas Toronto yang bekerjasama dengan Universitas dari 170 negara disebutkan, pada 2030 mendatang akan ada 90 juta ton sampah plastik yang akan masuk kelaut jika tidak ada penanganan yang signifikan untuk mengurainya (Rosadi, 2020).

Saat ini ada teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar cair menggunakan metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia melalui pemanasan tanpa oksigen dimana limbah plastik dipanaskan pada suhu yang tinggi diatas 400°C sehingga plastik akan berubah menjadi gas atau biasa disebut dengan penguapan. Setelah proses tersebut kemudian gas yang dihasilkan dikondensasi sehingga dapat menjadi bahan bakar cair dari limbah plastik. Adapun alat utama untuk mengolah limbah

plastik menjadi bahan bakar cair terdiri dari dua komponen, yaitu reaktor sebagai tempat terjadinya pemanasan sampah plastik menjadi uap polimer tanpa udara atau dengan udara yang terbatas (pirolisis) dan kondensor yaitu tempat terjadinya proses pengembunan dari uap cair (kondensasi). Selain proses pemanasan, proses pengembunan juga sangat penting untuk menghasilkan kualitas bahan bakar yang baik (Mafruddin et al., 2017); (Yos, 2021). Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk membuat desain baru, fabrikasi dan juga pengujian mutu terhadap desain yang baru, diharapkan dengan desain ini didapatkan alat pirolisis yang memiliki tingkat kemudahan dalam pengoperasiannya dan juga kualitas mutu yang lebih baik.

2. METODOLOGI

Teknik atau metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang menggunakan jenis studi eksperimen dan bersifat analitis deskriptif. Penelitian dilakukan dengan menganalisa alat pirolisis yang sudah ada sebelumnya, kemudian merancang desain baru yang mempunyai tingkat kemudahan dalam pengoperasian dan juga kualitas mutu yang lebih baik dari pada alat pirolisis yang sudah ada sebelumnya, setelah dilakukan perancangan maka selanjutnya yakni menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan fabrikasi alat pirolisis dan yang terakhir yakni uji fungsi alat pirolisis.

A. Perancangan Alat

Alat pirolisis yang dirancang memiliki bagian-bagian utama yakni ranga pirolisis, tabung reaktor, tungku reaktor, kondensor, bak penampung air dan chamber output (Sukadi and Novarini, 2021). Kemudian data penelitian yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Dalam perancangan alat pirolisis ini perencanaan yang pertama yakni melakukan perhitungan untuk menentukan kapasitas alat pirolisis ini dalam satu kali pengoperasian, maka perlu dilakukan perhitungan volume tabung reaktor (Rifan, 2022); (Dani, 2021); (Rosadi, 2020).

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 x h \quad (1)$$

dimana:

$\pi = 3.14$ atau $22/7$

D = diameter

H = tinggi

Perhitungan spiral kondensor dilakukan untuk mengetahui kebutuhan panjang spiral kondensor yang digunakan pada alat pirolisis (Doni, 2021).

$$L = \sqrt{(\pi \frac{h}{h_1} D)^2 + h^2} \quad (2)$$

dimana:

$\pi = 3.14$ atau $22/7$

h = tinggi total spiral

h₁ = jarak antar spira

D = diameter spiral

Dalam penelitian Mokhtar et al (2018) menuliskan bahwa massa uap minyak plastik dalam 1 kali proses akan menghasilkan 45,40 % asap cair dari berat plastik, massa minyak dalam 1 kali proses.

$$m_{uap} = m \times mb \quad (3)$$

Dimana:

m = Massa Plastik

mb = bahan bakar minyak

Panas yang dibutuhkan untuk memanaskan plastik plastik sampai titik didih 280°C, kemudian pada temperature 480°C akan menguap (Anggono et al., 2009)

$$Q = m_{plastik} \times CP_{plastik} \times \Delta T_{plastik} \quad (4)$$

Persamaan ini menunjukkan selisih penguapan temperatur plastik.

$$\Delta T_{plastik} = (T_{out} - T_{in}) \quad (5)$$

Untuk mengetahui daya energi yang dipakai pada saat melakukan pembakaran atau pemanasan pada rekator dan sesuai dengan temperatur yang ingin dicapai maka

$$FC = \frac{m \text{ (gr)} \times LHV \left(\frac{J}{gr}\right)}{t \text{ (menit)}} \quad (6)$$

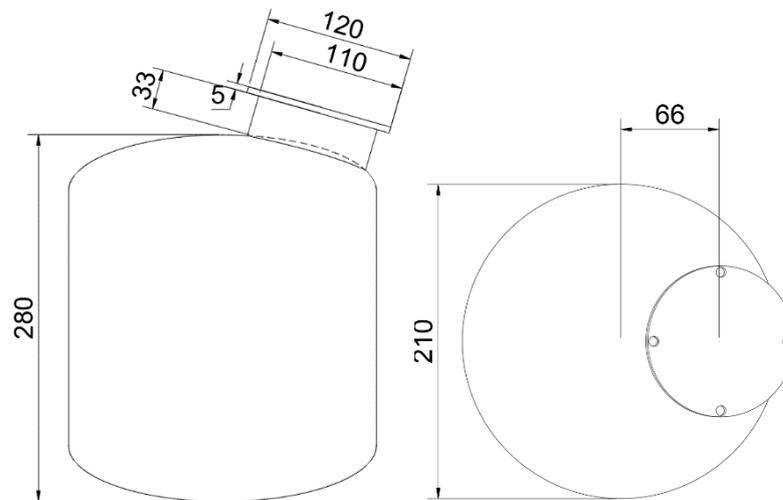
(Batutah, et al., 2022)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Tabung Reaktor Pirolisis

Perancangan kapasitas tabung reaktor alat pirolisis ini menggunakan tabung bekas Refrigerant R134a dengan penambahan lubang untuk input plastik yang akan dipirolisis dan juga thermometer untuk mengetahui suhu didalam tabung reaktor pirolisis. Tabung reaktor memiliki tinggi tabung 280 mm dengan diameter tabung 210 mm, kemudian pada penambahan lubang input memiliki tinggi 33 mm dengan diameter 110 mm, berdasarkan hasil dari software autocad maka didapatkan hasil Volume tabung 8924557,9 mm³ atau jika dikonversikan ke liter maka, $\frac{8924557,9}{1000} = 8.924\ 558$ Liter atau jika dibulatkan menjadi 8.9 liter.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan volume tersebut dapat menampung sampah plastik polipropilane dengan berat mencapai 1 kg – 1,2 kg. Pada bagian atas tabung reaktor ini ditambahkan lubang untuk mengalirkan uap yang dihasilkan dari hasil pirolisis



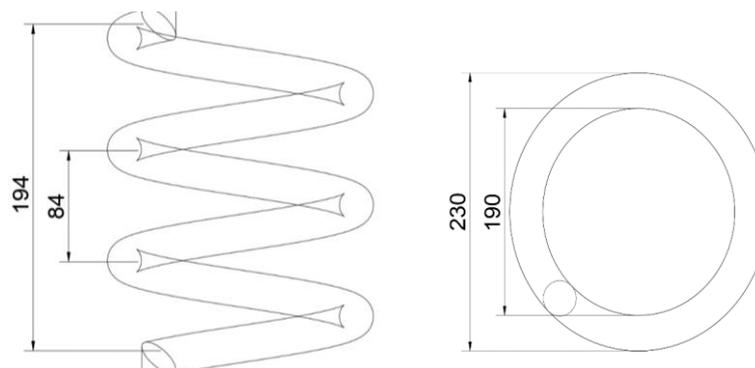
Gambar 1. Gambar Kerja Tabung Reaktor Pirolisis Tampak Samping dan Atas

dan juga pada bagian sisi lainya dipasangkan Thermometer temperatur tinggi hingga 500°C untuk mengetahui temperatur didalam tabung reaktor.

B. Perancangan Kondensor

Pada perancangan alat pirolisis ini menggunakan kondensor dengan bentuk spiral, menggunakan material pipa besi galvanis diameter luar ½ inchi atau 12.7 mm, diameter dalam 11.5 mm, diameter dalam spiral 190 mm, diameter luar 230 mm, tinggi total spiral 194, jarak masing masing spiral 84 mm dan jumlah spiral 3 (Maulana et al., 2020)

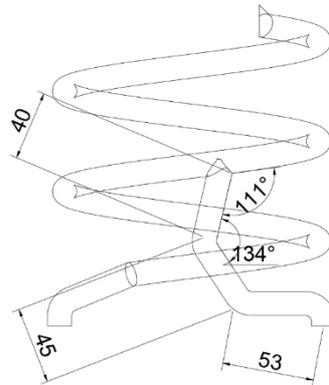
Untuk menentukan total panjang pipa besi galvanis yang dibutuhkan, maka perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut:



Gambar 2 Gambar Kerja Spiral Kondensor Tampak Depan dan Atas

$$L = \sqrt{\left(\pi \frac{h}{h_1} D\right)^2 + h^2} L = 1.197 \text{ mm} \quad (7)$$

Perancangan sistem pemisah kualitas bahan bakar cair ini menggunakan percabangan pada pipa spiral pada kondensor, yakni membuat 2 lubang output dengan level yang berbeda pada



Gambar 3 Gambar Kerja Sistem Pemisah Kualitas Bahan Bakar Cair

pipa spiral. Adapun mekanisme atau cara kerja dari sistem pemisah ini yakni dengan memanfaatkan titik kondensasi yang berbeda. uap yang dialirkan dari tabung reaktor ini melewati lubang output yang pertama, kemudian uap yang telah mencair mengalir masuk ke dalam output pertama dan sisa uap yang belum mencair mengalir melanjutkan proses kondensasi dan kemudian masuk pada lubang output kedua.

Kondensor pada alat pirolisis ini menggunakan air sebagai media pendingin, air ditampung pada chamber dengan ukuran dalam, panjang 318 mm, lebar 248 mm dan tinggi 249 mm.

$$V = P \times L \times T \quad V = 19.637.136 \text{ mm}^3 \quad (8)$$

Jika dikonversikan ke liter maka:

$$19.637.136 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 19.637,136 \text{ liter atau jika dibulatkan menjadi } 19.5 \text{ liter.}$$

Bak penampung air ini menggunakan material plat besi galvanis dengan kebutuhan plat yang digunakan +1 mm pada setiap sisi ketebalan plat, adapun kebutuhan plat sebagai berikut:

$$= (P \times T \times 2) + (L \times T \times 2) + (L \times P) = 385.600 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

Jadi kebutuhan plat besi yakni 385.600 mm² dengan ketebalan 1 mm Dengan bahan pipa besi galvanis Di = 11,9 mm Do = 12,7 mm; Temperatur uap masuk = 175°C; Temperatur uap keluar = 64,7°C; Temperatur air awal (T₀) = 31,2 °C; Temperatur air ahir (T_i) = 43,1 °C; Temperatur minyak keluar adalah 40°C.

Maka ΔT dapat dihitung menggunakan persamaan:

Kondensasi:

$$\Delta T_{uap} = T_o - T_1 = 110,3^\circ C \quad (10)$$

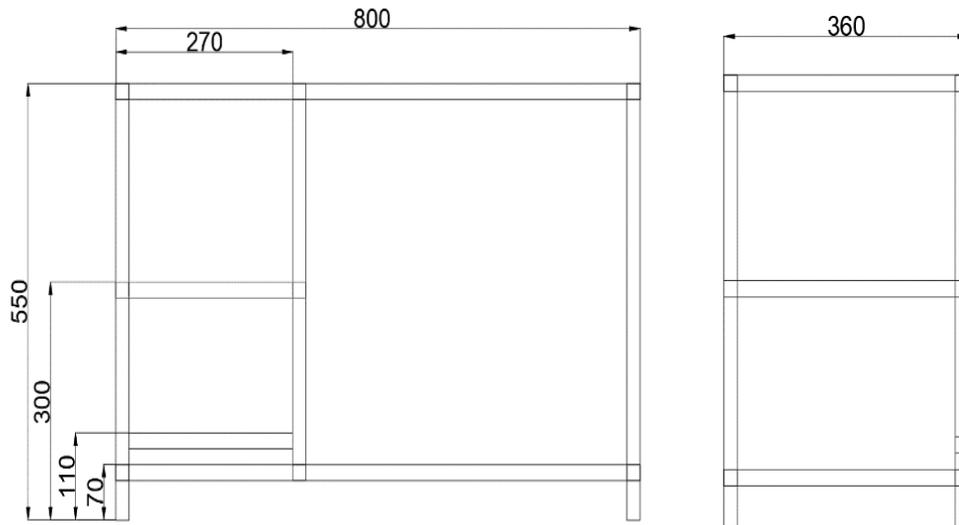
Temperatur air kondensor:

$$\Delta T_{air} = T_1 - T_o = 11,9^\circ C \quad (11)$$

Maka selisih kondensasi didapatkan sejumlah 110,3 °C, dan selisih temperature air kondensor sejumlah 11,9 °C.

C. Perancangan Rangka Alat Pirolisis

Perancangan alat pirolisis ini menggunakan rangka besi sebagai penopang komponen-komponen utama, seperti tabung reaktor dan juga kondensor, rangka besi yang digunakan adalah besi galvanis 20 x 20 mm dengan ketebalan 0.8 mm.



Gambar 4 Gambar Kerja Rangka Alat Pirolisis

Penggunaan desain seperti ini dinilai sangat minimalis dan juga dapat mempermudah dalam pengoperasian alat pirolisis, sebab selain bobotnya yang ringan desain seperti ini juga mudah untuk dipindahkan (Novendri, 2021)

Kebutuhan besi hollow galvanis:

$$= (T1 \times 4) + (T2 \times 2) + (P1 \times 4) + (P2 \times 4) + (L \times 8) = 10200 \text{ mm atau } 10,2 \text{ m} \quad (12)$$

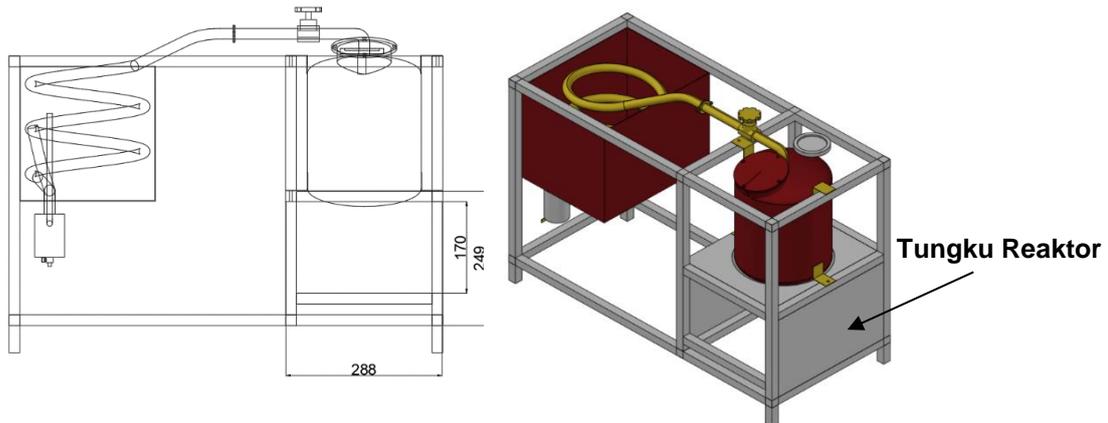
Jadi total kebutuhan besi hollow galvanis 20 x 20 mm sepanjang 10,2 meter.

D. Tungku Reaktor

Tungku reaktor pada alat pirolisis ini berfungsi sebagai sumber panas untuk meningkatkan suhu didalam tabung reaktor. Adapun perancangan tungku yang digunakan pada alat pirolisis ini mempunyai panjang 359 mm, lebar 288 mm, tinggi 249 mm dan tinggi dudukan kompor 170 mm.

$$V = P \times L \times T = 25.744.608 \text{ mm}^3 \quad (13)$$

Tungku reaktor alat pirolisis ini menggunakan Gas LPG sebagai bahan bakar, agar panas pada tungku ini dapat optimal baik secara konveksi ataupun konduksi maka tungku diisolasi menggunakan plat besi galvanis seperti tampak gambar berikut.



Gambar 5 Gambar Kerja Alat Pirolisis Tampak Depan dan Gambar Isometri Alat Pirolisis

untuk mengetahui kebutuhan gas LPG yang dipakai dalam melakukan pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar minyak sesuai dengan temperatur yang diinginkan, dapat dihitung dengan mengetahui massa gas LPG dan nilai kalornya dengan Low Heating Value (LHV), LHV gas LPG = 45,500 j/kg, massa gas LPG yang terpakai 0,559 kg dan waktu pemanasan 200 menit, maka kebutuhan bahan bakar (Fc) dapat dihitung dengan persamaan 4.8 sebagai berikut:

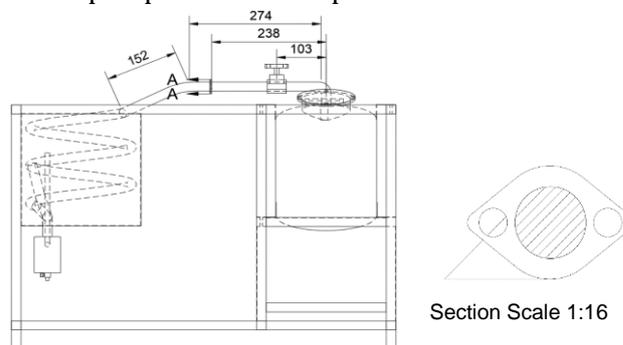
$$F_c = \frac{m(kg) \times LHV \left(\frac{J}{kg} \right)}{t \text{ (menit)}} = 127 \text{ j/menit} \quad (14)$$

(Kuma et al., 2011)

E. Instalasi Pemipaan

Instalasi pemipaan ini berfungsi untuk mengalirkan uap dari tabung reaktor ke kondensor dan terakhir keluar melalui lubang output berupa minyak atau bahan bakar cair. pipa ini juga dilengkapi dengan satu katup atau valve dengan jarak dari tabung reaktor 103 mm, fungsi dari katup ini yakni untuk meminimalisir masuknya oksigen dari luar karena dalam proses pirolisis pada prinsipnya tanpa atau dengan sedikit oksigen.

pada bagian tengah instalasi tepatnya 238 mm dari tabung, juga dilengkapi dengan sambungan pipa menggunakan mur baut sebanyak 2 buah, sambungan ini berfungsi untuk melepaskan tabung reaktor dari rangka alat pirolisis sehingga dapat mempermudah pada waktu perawatan ataupun perbaikan alat pirolisis.



Gambar 6 Gambar Kerja Pemipaan Tampak Depan dan detail potongan.

Kebutuhan total pipa galvanis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = 1.197 + 152 + 274 \quad L_{total} = 1.623 \text{ mm} \quad (15)$$

F. Chamber Output

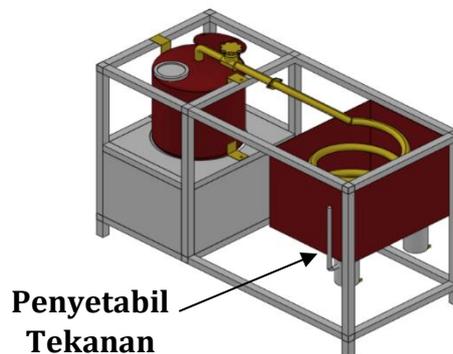
Chamber Output atau tabung penampungan ini berfungsi sebagai tempat menampung bahan bakar minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis (Nugroho, 2020); (Kumar et al.,2011). Karena pada desain ini menggunakan sistem pemisah kualitas bahan bakar maka *chamber output* juga dibagi menjadi dua bagian, yakni *chamber output* pertama dan *chamber output* kedua. Pada *chamber* ini juga dilengkapi dengan keran untuk mengeluarkan bahan bakar cair hasil pirolisis pada setiap *chamber*.

Chamber output menggunakan material besi galvanis diameter dalam 2 inchi atau 55 mm, tebal 1 mm dan tinggi 80 mm. jadi volume masing masing *chamber* adalah:

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 \times h \quad V = 189.970 \text{ mm}^3 \quad (16)$$

G. Penyetabil Tekanan

Pada alat pirolisis ini dilengkapi dengan penyetabil tekanan sehingga aman saat dioperasikan, penyetabil tekanan ini juga berfungsi sebagai output uap yang tidak mencair atau tidak terkondensasi (Syamsiro, 2015). Komponen ini menggunakan pipa besi bekas kompor gas LPG, ditempatkan dibagian samping chamber output kedua, dengan diameter 10 mm, tinggi 204mm dan panjang 38mm.



H. Data Penelitian

Material pirolisis terdiri dari limbah sampah plastik Polipropilena (PP), kapasitas tabung reaktor 8,9 Liter/proses, Rumus kimia polipropilena: $(C_3H_6)_x$, titik lebur 160°C , massa jenis $0,735 \text{ kg/l}$, temperatur panas tungku 200°C , temperatur di dalam tabung reaktor 175°C , temperatur kondensor $43,1^\circ\text{C}$, temperatur uap keluar 40°C .

I. Perhitungan Kebutuhan Panas

Menurut Mokhtar et al (2018) dalam penelitiannya massa uap minyak plastik dalam 1 kali proses dapat menghasilkan 45,40% minyak dari berat plastik.

$$m_{uap} = m \times m_b \quad (17)$$

$$m_{uap} = 1 \times 0,454 = 0,454 \text{ kg/proses}$$

Panas yang dibutuhkan untuk memanaskan plastik didalam tungku reaktor hingga mencapai titik didih adalah 110°C , kemudian pada temperatur 175°C akan menguap. Persamaan 11 menjelaskan rumusan kebutuhan panas pada temperatur penguapan minyak.

$$Q = m_{plastik} \times CP_{plastik} \times \Delta T_{plastik} \quad (18)$$

Kemudian pada persamaan 19 menjelaskan selisih temperatur penguapan plastik.

$$\Delta T_{plastik} = (T_{in} - T_{out}) = (200 - 175) = 25^{\circ} \text{C} \quad (19)$$

Kemudian perpindahan panas secara konduksi adalah:

$$Q = 10 \times 1,0 \times 25 = 250 \text{ W}$$

Jadi kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan plastic adalah 15.000 Joule/menit.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, membuat desain baru menggunakan software AutoCAD, dan pembuatan alat maka didapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut:

1. Prinsip kerja alat pirolisis ini yakni dengan memanaskan plastik didalam tabung reaktor hingga mencapai temperatur $110^{\circ}\text{C} - 175^{\circ}\text{C}$, sehingga plastik mengalami penguapan, uap yang dihasilkan selanjutnya melalui pipa menuju kondensor, setelah uap melawati kondensor maka akan terjadi proses kondensasi kemudian dari proses tersebut akan menghasilkan minyak.
2. Kapasitas alat pirolisis ini adalah: 8,9 liter, dapat menampung sampah plastik polipropilane dengan berat 1 kg – 1,2 kg; dimensi alat $p = 800 \text{ mm}$, $l = 360 \text{ mm}$, $t = 550 \text{ mm}$. dengan kapasitas dan juga dimensi tersebut alat ini sangat minimalis.
3. Pada perancangan alat pirolisis ini menggunakan kondensor dengan bentuk spiral, menggunakan material pipa besi galvanis diameter $\frac{1}{2}$ inchi atau 12.7 mm, diameter dalam spiral 190 mm, diameter luar 230 mm, tinggi total spiral 194, jarak masing masing spiral 84 mm dan jumlah spiral 3.
4. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan kondensor ini mampu menurunkan temperatur uap hingga $110,3^{\circ}\text{C}$, dengan temperatur air kondensor mengalami kenaikan temperatur sebanyak $11,9^{\circ}\text{C}$.
5. Panas yang dibutuhkan untuk memanaskan plastik didalam tungku reaktor hingga mencapai titik didih adalah 110°C , kemudian pada temperatur 175°C akan menguap, maka dari perhitungan yang telah dilakukan, lakukan alat pirolisis ini membutuhkan panas atau kalor sejumlah 15.000 joul/menit.
6. Kebutuhan gas LPG yang dipakai dalam melakukan pirolisasi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak sesuai dengan temperatur yang diinginkan, dapat dihitung dengan mengetahui massa gas LPG dan nilai kalornya dengan *Low Heating Value* (LHV), LHV gas LPG = 45,500 j/kg, massa gas LPG yang terpakai 0,559 kg dan waktu pemanasan 150 menit, maka kebutuhan bahan bakar (F_c) sejumlah 169,5 joul/menit atau 10.173,5 joule/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Mokhtar, M. Jufri, H. Supriyanto, and K. Person, "Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)," 2018. [Online]. Available: <http://beginstl.com/tag/jenis-jenis-plastik-dan-contohnya/>
- A. S. Nugroho, "PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK LDPE DAN PP UNTUK BAHAN BAKAR DENGAN CARA PIROLISIS," *Jurnal Litbang Sukowati : Media Penelitian dan Pengembangan*, vol. 4, no. 1, p. 10, Oct. 2020, doi: 10.32630/sukowati.v4i1.166.

- Dani, "Cara menghitung volume besi spiral borepile dengan mudah," *kelasilmuproyek.co.id*, Dec. 10, 2021.
- Doddy Rosadi, "Studi : Pada 2030, ada 90 juta ton sampah plastik yang masuk kelaut," *katadata.co.id*, 2020.
- E. Maulana, B. N. Fajri, and D. Mahardika, "Perancangan Proses Pembuatan Reaktor Pirolisis Model Horizontal Kapasitas 75 Kg/Jam," 2020. [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- M. A Batutah, M. A. Setiawan, and H. Kusnanto, "PROSES PIROLOSIS PENGOLAHAN SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR CAIR," *Jurnal Chemurgy*, vol. 06, no. 1, pp. 80–87, 2022, [Online]. Available: <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- M. Syamsiro, "KAJIAN PENGARUH PENGGUNAAN KATALIS TERHADAP KUALITAS PRODUK MINYAK HASIL PIROLISIS SAMPAH PLASTIK," 2015.
- Mafruddin, M., Dharma, U. S., & Nuryanto, A. (2017). Pengaruh Geometri Pipa Kondensor Terhadap Perpindahan Panas Pada Destilasi Minyak Plastik. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(2), 193-197.
- Rifan Aditya, "Cara Menghitung Volume Tabung dengan Rumus yang Tepat," *Suara.com*, Sep. 12, 2022.
- S. Kumar, A. K. Panda, and R. K. Singh, "A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, no. 11, pp. 893–910, Sep. 2011. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.05.005.
- Sukadi and Novarini, "RANCANG BANGUN ALAT PIROLISIS UNTUK DAUR ULANG SAMPAH KANTONG PLASTIK," *Jurnal Ilmiah "TEKNIKA*, vol. 5, no. 2, 2021, [Online]. Available: www.teknika-ftiba.info
- T. Anggono, E. W. Wahyu, and A. Rahmadani, "PIROLISIS SAMPAH PLASTIK UNTUK MENDAPATKAN ASAP CAIR DAN PENENTUAN KOMPONEN KIMIA PENYUSUNNYA SERTA UJI KEMAMPUANNYA SEBAGAI BAHAN BAKAR CAIR," 2009.
- Yos. H. A. Nofendri, "JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN," 2021. [Online]. Available: <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jktm/index>