

## Perancangan *Preheater* pada Sistem Pirolisis Kapasitas 20 Kg/Jam

Eka Maulana<sup>1</sup>, Kelvin Gunawan Sitinjak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: [ekamaulanaup85@gmail.com](mailto:ekamaulanaup85@gmail.com), [kelvingunawan22@gmail.com](mailto:kelvingunawan22@gmail.com)

### ABSTRAK

Tujuan dalam perancangan *Preheater* dilakukan untuk memanfaatkan gas buang dari proses pirolisis yang terbuang sia-sia sebagai pemanasan awal sampah plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylen*) sampai dalam bentuk tar. Perancangan *Preheater* disesuaikan dengan reaktor jenis *fixed or moving bed* dan komponen dan material yang digunakan pada *Preheater* menggunakan material *stainless steel 304* ketebalan 0,005 m, *flange*, *glasswool*, *hopper* dan *balve valve*. Kebutuhan termal yang diperlukan *Preheater* untuk dapat merubah bentuk sampah plastik jenis LDPE menjadi bentuk tar sebesar 6560 kJ atau dapat dicapai pada suhu 300°C yang berasal dari gas buang pirolisis selama 1 jam sebesar  $Q_{total} = 1,82$  kJ/det dan efisiensi termal yang di dapatkan dengan menggunakan aliran *counter flow* sebesar 76,17 %.

**Kata kunci:** Plastik LDPE, *Preheater*, *Stainless Steel*, Termal , *Counter Flow*, Efisiensi.

### ABSTRACT

The purpose of designing the *Preheater* is to utilize waste gas from the pyrolysis process which is wasted as preheating of LDPE (*Low Density Polyethylene*) plastic waste into tar forms. The *Preheater* design is adapted to the *fixed or moving bed* reactor and the components and materials used in the *Preheater* use 304 stainless steel with 0,005 m thickness, *flange*, *glasswool*, *hopper* and *balve valve*. The thermal requirement required by the *Preheater* to be able to change the form of LDPE plastic waste into a tar form of 6560 kJ or it can be achieved at a temperature of 300°C from pyrolysis exhaust gas for 1 hour of  $Q_{total} = 1,82$  kJ / s and the thermal efficiency obtained by using a counter flow of 76,17%.

**Keywords:** LDPE Plastic, *Preheater*, *Stainless Steel*, Thermal, *Counter Flow*, Efficiency.

### PENDAHULUAN

Menurut Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta, volume sampah yang masuk ke Tempat Pengolah Sampah Terpadu (TPST) Bantargebang pada Juli 2018 berkisar 118.117 ton dan Januari 2020 volume sampah mengalami kenaikan yang sangat signifikan sebesar 255.026,68 ton. Persentase kenaikan pada Juli 2018 sampai Januari 2020 berkisar 35,56% [1], kenaikan volume sampah diakibatkan karena jumlah penduduk dan konsumsi terhadap sampah terutama sampah plastik. Berdasarkan data tersebut, sampah yang dihasilkan Provinsi DKI Jakarta bukan dalam jumlah yang sedikit setiap tahunnya, sampah konsumsi masyarakat harus dapat ditangani dengan benar.

Metode pengolahan yang dapat dilakukan untuk mereduksi sampah plastik jenis LDPE (*low density polyethylene*) yaitu dengan metode pirolisis. Metode pirolisis merupakan proses penguraian bahan-bahan polimer seperti plastik LDPE (*low density polyethylene*) dengan melakukann pemanasan yang melibatkan oksigen seminimal mungkin [2,3]. Hasil dari pirolisis

yang sudah melewati beberapa proses dapat berupa gas, cair dan padatan.

Metode pirolisis juga terdiri dari beberapa komponen penting yang saling berhubungan prosesnya diantaranya proses di dalam reaktor. Beberapa tipe reaktor yang dapat ditemui dan telah dikembangkan dan juga digunakan untuk proses pirolisis seperti *batch/semi batch*, reaktor unggun tetap (*fixed bed*), reaktor unggun terfluidisasi (*fluidized bed*), *spouted bed* dan *screw kiln* dan juga semua tipe reaktor pirolisis membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasil [4-8]. Reaktor tipe *batch/semi batch* banyak digunakan oleh peneliti dan industri karena desainnya relatif sederhana dan mudah pengoperasiannya [9-10]. Akan tetapi, tipe ini memiliki kekurangan di dalam stabilitas proses terutama dalam pengaplikasian skala yang lebih besar [11-12]. Maka dari itu, reaktor dengan sistem *continue* adalah opsi yang tepat karena dapat menjaga kestabilan proses diantaranya temperatur, tekanan dan jumlah *feedstock* yang konstan.

Oleh karena itu, untuk mendapatkan kestabilan proses pada sistem pirolisis yang

efisien dibutuhkan reaktor sistem *continue* yang dapat dikembangkan dengan dilakukan penambahan *preheater* yang digunakan sebagai pemanasan awal dengan memanfaatkan gas buang reaktor pirolisis untuk memanaskan sampah plastik sampai berubah kedalam bentuk cairan.

## METODE PENELITIAN

*Preheater* merupakan proses pemanasan mula-mula material sebelum material tersebut memasuki ke tahapan selanjutnya. *Preheater* mempunyai tujuan untuk mereduksi perbedaan temperatur yang tinggi dan mereduksi pemakaian energi, karena pada saat proses pemanasan relatif tidak merata dapat mengakibatkan perubahan fisik suatu materi tegangan sisa yang tinggi dan distorsi.

Material yang digunakan adalah sampah plastik LDPE (*low density polyethylene*) yang akan diubah sampai berubah wujud menjadi tar. Temperatur awal pada plastik LDPE (*low density polyethylene*) sebelum memasuki *preheater* diasumsikan memiliki suhu sebesar  $T = 30^{\circ}\text{C}$  sesuai dengan temperature lingkungan. Suhu tersebut akan dinaikan sampai dengan titik cair dari sampah plastik LDPE (*low density polyethylene*). Maka dapat dilakukan analisa perhitungan sebagai berikut:

Perhitungan kalor kebutuhan plastik LDPE (*low density polyethylene*) pada *Preheater*

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

$$Q_1 = m \cdot C_{p\text{LDPE}} \cdot (T_1 - T_0) \quad (2)$$

$$Q_2 = m \cdot L_{\text{LDPE}} \quad (3)$$

$$Q_3 = m \cdot C_{p\text{LDPE}} \cdot (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Dimana,

Q = Kalor [kJ]

$C_p$  = Kalor spesifik [J/kg  $^{\circ}\text{C}$ ]

m = massa [kg]

T = Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk perubahan bentuk plastik LDPE (*low density polyethylene*) menjadi wujud tar.

Perhitungan waktu perubahan wujud plastik LDPE (*low density polyethylene*) menjadi tar pada *preheater*

$$t_{\text{total}} = t_1 + t_2 + t_3 \quad (5)$$

$$t_1 = P \times t_1 = m \times C_{p\text{LDPE}} \cdot (T_1 - T_0) \quad (6)$$

$$t_2 = P \times t_2 = m \times C_{p\text{LDPE}} \quad (7)$$

$$t_3 = P \times t_3 = m \times C_{p\text{LDPE}} \cdot (T_2 - T_1) \quad (8)$$

Dimana,

t = Waktu[menit]

$C_p$  = Kalor spesifik [J/kg  $^{\circ}\text{C}$ ]

T = Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Perpindahan panas yang akan terjadi pada *preheater* yaitu perpindahan panas konveksi, konduksi, konveksi. Perpindahan yang terjadi pada konveksi secara laminar dan didapatkan perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi secara laminar

$$h_1 = 0,664 \times \frac{k}{L} \times \text{Re}_L^{0,5} \times \text{Pr}^{0,333} \quad (9)$$

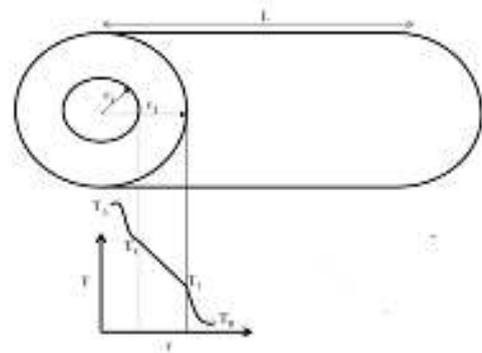
Dimana,

K = Konduktivitas termal (W/mK)

L = Panjang pelat (m)

Re = Bilangan Reynold

Pr = Bilangan Prandtl



Gambar 1. Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada bidang silinder.

Perhitungan luas permukaan silinder dengan menggunakan rumus:

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{kA} + \frac{1}{h_2 A_2}} \quad (10)$$

Dimana,

q = laju perpindahan panas.(kJ / det,W)

k = konduktivitas termal.(W/m. $^{\circ}\text{C}$ )

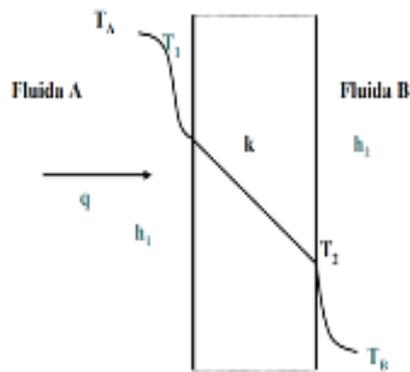
$r_1$  = jari -jari dalam.(m)

$r_2$  = jari -jari luar.( m)

L = panjang tabung ( m )

$\Delta T$  = perbedaan temperatur (  $^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{F}$  )

h = perpindahan panas secara menyeluruh bidang silinder (W/m $^2$ . $^{\circ}\text{C}$ )



Gambar 2. Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada bidang datar.

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}} = \frac{A(T_A - T_B)}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (11)$$

Selain itu,  $q = UA \Delta T_{\text{menyeluruh}} \quad (12)$

Sehingga koefisien perpindahan panas secara menyeluruh dapat dinyatakan dengan:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (13)$$

Dimana,

- q = laju perpindahan panas (kJ / det,W)
- k = konduktivitas termal (W/m.°C)
- A = luas penampang (m<sup>2</sup>)
- ΔT = perbedaan temperatur ( °C, °F )
- Δx = perbedaan jarak (m / det)
- h =perpindahan panas secara menyeluruh bidang datar (W/m<sup>2</sup>°C)

Panas yang masuk menunjukkan energi yang didapatkan dari sumber energi sedangkan output yang diinginkan dapat berupa kerja atau panas, atau mungkin keduanya.

Sehingga perhitungan efisiensi termal *Preheater*:

$$\eta_p = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (14)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Identifikasi Kebutuhan

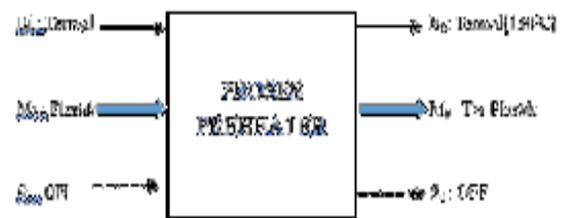
Perancangan *Preheater* pada sistem pirolisis kapasitas 20 kg/ jam harus memenuhi beberapa ketentuan dari konsumen dengan mempertimbangkan pemilihan komponen dan

desain, antara lain: dari segi geometri, ergonomis, material, perawatan, perakitan, produksi dan operasi. Maka selanjutnya dikembangkan sebagai gambaran untuk memilih komponen yang ekonomis dan sesuai perhitungan teknis

Tabel 1. Identifikasi Kebutuhan

No	Fungsi	Tipe	Perawatan
1	1. Desain	ST	Agar perawatan lebih mudah dipelihara
		L	Estimasi yang baik
		J	Penggunaan bahan yang baik dan tidak mudah berkarat
		L	Material mudah didapat dan tidak mahal
2	2. Perangi	J	Penggunaan bahan yang baik
3	3. Insulasi	L	Material yang murah
		J	Material yang tahan lama dan tidak mudah berkarat
4	4. Insulasi	L	Material yang murah
		L	Material yang tahan lama dan tidak mudah berkarat
5	5. Perawatan	J	Penggunaan bahan yang baik

### B. Blok Fungsi

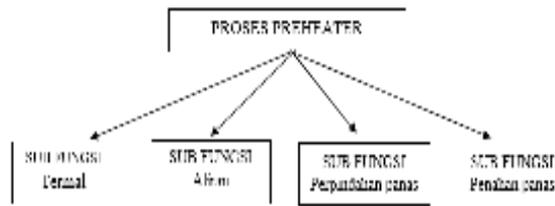


Gambar 3. Blok Fungsi

Keterangan:

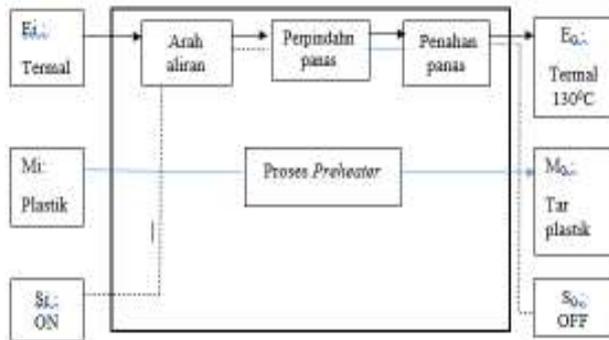
- E<sub>i</sub> : Energi yang dibutuhkan
- M<sub>i</sub> : Material masuk
- S<sub>i</sub> : Sinyal masuk
- E<sub>o</sub> : Energi yang dikeluarkan
- M<sub>o</sub> : Keluaran material
- S<sub>o</sub> : Sinyal berhenti

C. Pohon Fungsi



Gambar 4. Pohon Fungsi

D. Diagram Fungsi



Gambar 5. Diagram Fungsi

E. Morphological Chart

Tabel 2. Morphological Chart

No	Variable	Variasi			Variasi yang dipilih
		Variasi A	Variasi B	Variasi C	
1	Materi Preheater	Stainless Steel	Alum	Aluminium	A
2	Ukuran	Panjang	Lebar	Tinggi dan Lebar	B
3	Pendukung	Aluminium	Aluminium	Aluminium	A
4	Mopas	Keramik	Stainless Steel	Aluminium	C
5	Kemiringan	10°	15°	20°	A
6	Pewil (angka)	Pipa	Pewil	Pewil	C

Garis ..... = Variasi A  
 Garis ..... = Variasi B  
 Garis ..... = Variasi C

Variasi 1 : 1-A, 2-B, 3-A, 4-C, 5-A, 6-C  
 Variasi 2 : 1-C, 2-A, 3-A, 4-A, 5-B, 6-A  
 Variasi 3 : 1-B, 2-B, 3-A, 4-A, 5-B, 6-C

F. Tabel Keputusan

Konsep yang telah memenuhi kriteria dan spesifikasi yang telah ditentukan selanjutnya akan dipilih satu konsep yang terbaik. Konsep akan dipilih dengan menilai aspek-aspek yang penting sesuai dengan fungsi produk, dengan begitu dapat ditentukan konsep yang terbaik dari konsep-konsep lainnya. Seleksi keputusan dasar memiliki tahapan-tahapan seleksi untuk menilai konsep yang akan dipilih.

Tabel 3. Tabel Keputusan

No	Konsep	Fungsi	Variasi 1			Variasi 2			Total
			10%	20%	30%	10%	20%	30%	
1	Konsep 1	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
2	Konsep 2	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
3	Konsep 3	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
4	Konsep 4	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
5	Konsep 5	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
6	Konsep 6	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
7	Konsep 7	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
8	Konsep 8	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
9	Konsep 9	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
10	Konsep 10	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
11	Konsep 11	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
12	Konsep 12	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	

Berdasarkan dari tabel hasil keputusan, jumlah bobot varian 2 dan 3 lebih rendah dari varian 1, sehingga varian ke 1 yang dipilih sebagai konsep yang akan digunakan.



Gambar 6. Rancangan Terpilih

### G. Perhitungan Mekanis

#### 1. Perhitungan kalor kebutuhan plastik pada Preheater

Temperatur awal pada plastik LDPE (*low density polyethylene*) sebelum memasuki Preheater diasumsikan memiliki suhu sebesar  $T = 30^{\circ}\text{C}$  sesuai dengan temperature lingkungan. Suhu tersebut akan dinaikan sampai dengan titik cair dari sampah plastik LDPE (*low density polyethylene*) didapatkan  $Q_{\text{total}} = 6560 \text{ kJ}$  untuk melakukan pemanasan sampah plastik sampai dalam wujud cairan, berdasarkan perhitungan tersebut diasumsikan  $Q_{\text{total}}$  dapat dicapai oleh suhu yang berasal dari gas buang pirolisis selama 1 jam maka di dapatkan  $Q_{\text{total}} = 1,82 \text{ kJ/det}$ .

#### 2. Perhitungan waktu perubahan wujud plastik menjadi tar pada Preheater

Analisis perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk perubahan bentuk plastik LDPE (*low density polyethylene*) menjadi wujud tar. Maka didapatkan  $t_{\text{total}} = 2552,744 \text{ detik}$  atau 42 menit 14 detik untuk melakukan proses perubahan sampah plastik LDPE (*low density polyethylene*) sampai dalam wujud tar.

#### 3. Perhitungan efisiensi termal Preheater

Data media sampah plastik jenis LDPE (*low density polyethylene*) pada Tabel 4.

Tabel 4. Data spesifik sampah plastic LDPE

Densitas	970 kg/m <sup>3</sup>
Massa jenis	20 kg
Titik leleh	115°C
Titik dididih	260-300°C
Arus	0,91-0,91 g/m <sup>2</sup>
Level of konduksi (k)	4,5 W/mK
Luas (A)	0,0001 m <sup>2</sup>
Level of konduksi (k)	0,70 W/mK

Parameter yang dapat dilihat pada data media untuk menghitung efisiensi Preheater dan diasumsikan plastik LPDE mencari dengan keluaran berkisar 7 kg sesuai dengan keluaran gas dan efisiensi termal di dapatkan sebesar 76,17%.

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Desain yang sesuai dengan reaktor jenis *fixed or moving bed* memiliki panjang sampai ke hopper berkisar 1460 mm dan kerangka reaktor tinggi 920 mm, panjang 890 mm, dan lebar 425 mm dan mempunyai kemiringan hopper sekitar  $10^{\circ}$ .

2. Komponen yang digunakan dalam pembuatan Preheater stainless steel sebagai material utama Preheater, hopper, flange, glasswool, ball valve.
3. Untuk dapat mencairkan sampah plastik jenis ldpe kebutuhan termal yang diperlukan Preheater sebesar 6560 kJ atau dapat dicapai pada suhu  $300^{\circ}\text{C}$  yang berasal dari gas buang pirolisis selama 1 jam sebesar  $Q_{\text{total}} = 1,82 \text{ kJ/det}$  dan efisiensi termal yang di dapatkan untuk Preheater dengan aliran counter flow sebesar 76,17%.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bidang, Suku Dinas UPT.[Online]. Available: <https://upst.dlh.jakarta.go.id/tpst/data>. [Diakses 24 Maret 2021].
- [2] Frank.P Incropera dan David P. DeWitt. *Fundamentals of Heat Transfer, 4rd ed.* John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.
- [3] Holman, J.P., "Heat Transfer", sixth edition, McGraw Hill, Ltd., New York, 1986.
- [4] Mikheyev, M., "Fundamentals of Heat Transfer", John Willey & Sons Inc., New York, 1986.
- [5] Maulana, Eka, Hasan Hariri dan Andre Permata P. "Perancangan Ulang Reaktor Pirolisis Berbahan Baku Sampah Plastik". Universitas Pancasila. Seminar Nasional Teknologi.2018
- [6] Iswadi, Didik, Fatmi Nurisa dan Erlina Liastuti. "Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Proses Pirolisis". Universitas Pamulang.Jurnal Ilmiah Teknik Kimia.Juli 2017
- [7] Kurniawan, Eddy, Nasrun. "Karakteristik Bahan Bakar dari Sampah Plastic Jenis High Density Polyethelene dan Low Density Polyethelene". Universitas Malikusaleh.Jurnal Teknologi Kimia.November 2014
- [8] McA dams, W.H., "Heat Transmision", 3rd edition, McGraw Hill Book Company, Inc., New York.
- [9] Landi, Taufan, Arijanto. "Perancangan dan Uji Alat Pengolahan Sampah Plastik Jenis LDPE Menjadi Bahan Alternatif". Universitas Diponegoro. Jurnal Teknik Mesin.2017
- [10] Maulana, Eka, "Perancangan Alat Pengapian Pada Tungku Kapasitas 10 Kg". Seminar Nasional Teknologi. Universitas Pancasila. 2018

- [11] Maulana, Eka. Eddy Djatmiko, “Perancangan perancangan cyclone untuk menangkap butiran debu pada gas buang insenerator”. Seminar Nasional Teknologi. Universitas Pancasila. 2018
- [12] Sudartha., Buku Ajar Perpindahan Panas bagian I. Semarang: Universitas Diponegoro, 2009.