

Analysis Heat Transfer in Process of Smelting Plastic Waste in the Form Paving Blocks

Analisis Perpindahan Panas pada Proses Peleburan Sampah Plastik Berbentuk Paving Block

* Irna Sari Maulani ¹⁾, Heris Syamsuri ²⁾

^{1, 2)} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Galuh, Ciamis, Jawa Barat, INDONESIA.

INFORMASI ARTIKEL

NASKAH DITERIMA : 16 Maret 2023

DIREVISI : 14 April 2023

DISETUJUI : 15 Juni 2023

*KORESPONDENSI PENULIS :

irna.maulani@gmail.com

Abstract

Plastic waste is an inseparable part of human life. People's habit of burning accumulated plastic waste can release heavy metal content in plastic and toxic chemicals such as dioxins which can interfere with the respiratory process. There is another way to reduce plastic waste, namely by melting plastic waste into paving blocks. The process of melting plastic waste is carried out in a melting furnace. The purpose of this study is to analyze the heat transfer that occurs in the smelting furnace. The method used in this research is heat transfer analysis using FEM analysis and heat transfer analysis through experimental studies. The results obtained in the FEM analysis, the heat generated by the smelting furnace ranges from 212-300 °C. While the heat generated in the measurement process is 280 °C. Analysis of heat transfer that occurs in the smelting furnace obtained a figure of 1.95 Watt. The value of the wasted heat from the smelting furnace is 6.77 W. This means that the wasted heat is greater than the heat generated from the smelting furnace, this will result in a waste of energy. To overcome wasted heat, it is recommended to add insulating material to the furnace around smelting.

Keyword: *Melting Plastic Waste, Heat Transfer*

Abstrak

Sampah plastik merupakan bagian yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan manusia. Kebiasaan masyarakat membakar limbah plastik yang menumpuk dapat melepaskan kandungan logam berat dalam plastik dan bahan kimia beracun seperti dioksin yang dapat mengganggu pada proses pernapasan. Terdapat cara lain untuk mengurangi sampah plasti yaitu meleburkan sampah plastik menjadi *paving block*. Proses peleburan sampah plastik dilakukan pada tungku peleburan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perpindahan panas yang terjadi pada tungku peleburan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisa perpindahan panas menggunakan analisa FEM dan analisa perpindahan panas melalui kajian eksperimental. Hasil yang didapatkan pada analisa FEM, panas yang dihasilkan oleh tungku peleburan berkisar 212-300 °C. Sementara panas yang dihasilkan pada proses pengukuran yaitu 280 °C. Analisa perpindahan panas yang terjadi pada tungku peleburan didapatkan angka sebesar 1,95 Watt. Panas yang terbuang dari tungku peleburan didapatkan nilai sebesar 6,77 W. Artinya panas yang terbuang lebih besar daripada panas yang dihasilkan dari tungku peleburan, hal ini akan mengakibatkan pemborosan energi. Untuk menanggulangi panas yang terbuang disarankan untuk menambah bahan isolator pada tungku sekitar peleburan.

Kata Kunci: Peleburan Sampah Plastik, Perpindahan Panas

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sampah plastik merupakan masalah yang paling utama dalam hal pencemaran lingkungan, baik pencemaran di darat maupun di laut. Hal ini disebabkan karena sampah plastik tidak mudah terurai dan membutuhkan waktu ratusan tahun untuk proses penguraiannya, selain itu proses pengolahannya dapat menimbulkan residu berupa toksit yang bersifat karsinogenik. Peningkatan penggunaan bahan plastik juga semakin banyak diikuti dengan sampah yang terus meningkat dilingkungan. Perubahan pola hidup yang menyebabkan keterbatasan lahan tempat pembuangan sampah akhir (TPA) menyebabkan

sampah kurang dapat diatasi dengan baik (Gandawidura 2019). Kebiasaan masyarakat membakar limbah plastik yang menumpuk dapat melepaskan kandungan logam berat dalam plastik dan bahan kimia beracun seperti dioksin yang dapat mengganggu pada proses pernapasan.

1.2 Proses Peleburan

Proses peleburan dapat diartikan sebagai proses mencairkan bahan melalui proses pemanasan didalam sebuah wadah penampung. Proses peleburan sampah plastik dapat

dijadikan solusi alternatif. Sampah yang sudah dilebur selanjutnya akan diolah menjadi bahan *paving block*. *Paving Block* adalah suatu bangunan yang terbuat dari campuran semen atau bahan perekat hidrolis sejenis, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan. *Paving block* mempunyai berbagai macam fungsi tergantung dari karakteristiknya.

Limbah plastik yang digunakan sebagai bahan baku *paving block* yaitu *Low Density Polyethylene (LDPE)*. Adapun viskositas dari plastik LDPE dengan kondisi cair dan pada suhu 250°C adalah 3,6 N.s/m² [15]. Plastik jenis ini banyak terdapat pada lingkungan sekitar dan banyak digunakan sebagai wadah pembungkus makanan pada umumnya. Adapun sifat material dari LDPE adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Sifat Material Plastik LPDE

No	Parameter	Nilai
1	Titik Lebur	150 °C
2	Koefisien termal	100 – 200 x 10 ⁻⁶
3	Massa jenis	910 – 940 kg/m ³
4	Tensile Strength	0,20 – 0,40 (N/mm ²)
5	Viskositas (suhu 250°C)	3,6 N.s/m ²

1.3 Proses Pencampuran Bahan

Proses pencampuran atau mixing merupakan suatu proses dimana beberapa bahan dicampurkan dalam satu wadah menggunakan pengaduk. Bahan yang digunakan untuk pembuatan *paving blok* adalah oli dan serbuk gergaji. Prinsip dalam pencampuran bahan diturunkan dari prinsip mekanika fluida dan

perpindahan bahan dimana proses terjadinya pencampuran bahan dipengaruhi oleh gerakan atau perpindahan bahan yang dicampur baik dalam posisi horizontal maupun posisi vertikal. Proses pencampuran bahan cair biasanya dilakukan dalam suatu wadah atau bejana yang berbentuk silinder serta memiliki sumbu vertikal.

Daya pengadukan dari mixer dapat dicari dengan mengetahui 3 parameter utama yaitu viskositas bahan yang diaduk, bilangan Reynold, dan koefisien daya pengadukan [17]. Adapun persamaan perhitungan bilangan Reynold yaitu [18]

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\mu} \quad (1)$$

Re = Bilangan Reynold

d_i = Diameter dalam tungku (m)

v = kecepatan aliran (m/s)

ρ = Massa jenis bahan yang diaduk (kg/m³)

μ = Viskositas bahan yang diaduk (N.s/m²)

Persamaan untuk menentukan koefisien panas keseluruhan menggunakan persamaan:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{d_i}{2k} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{h_i d_i} \quad (2)$$

1.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses perpindahan panas energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana energi kalor akan berpindah dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada perpindahan panas secara

konduksi, konveksi dan radiasi. (Holman JP 2010) Laju perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan 1

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (3)$$

Dimana: q = Laju perpindahan panas (W)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m².°K)

A = Luas penampang perpindahan panas (m²)

ΔT_m = Beda suhu rata-rata dalam penukar panas (°K)

1.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan panas komduksi adalah

perpindahan panas melalui zat padat yang tidak ikut mengalami perpindahan. Artinya, perpindahan kalor pada suhu zat tersebut tidak disertai dengan

perpindahan partikel-partikelnya. Menurut (Cengel Yunus 2006) secara umum besaran kalor di dalam konduksi dihitung dengan persamaan 2

$$Q_k = kA \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Q_k = Laju aliaran kalor secara konduksi (W)

k = Konduktifitas termal bahan (W/m².K)

A = Luas penampang perpindahan panas (m²)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien suhu pada penampang tersebut (K/m)

1.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas melalui aliran yang zat perantaranya ikut berpindah. Jika partikel berpindahdan mengakibatkan kalor merambat, terjadilah konveksi. Konveksi terjadi pada zat cair atau gas. Menurut (Cengel Yunus 2006) nilai kalor yang dipindahkan melalui konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$Q_c = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (5)$$

Q_c = Laju aliaran kalor secara konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan kalor secara konveksi (W/m².K)

A = Luas penampang perpindahan panas (m²)

ΔT = Beda suhu rata-rata dalam penukar panas (°K)

1.4.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Menurut (Cengel Yunus 2006) laju perpindahan kalor secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan 4.

$$Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (6)$$

Q = Laju aliaran kalor secara radiasi (W)

ϵ = Emisivitas benda (W/m².K)

A = Luas penampang perpindahan panas (m²)

T = Suhu Permukaan (°K)

1.5 Mencari Heatloss pada Tungku Peleburan

Heatloss merupakan faktor yang memengaruhi keseimbangan panas. Nilai *Heatloss* adalah nilai panas yang hilang selama proses berlangsung yang mempunyai satuan Watt. Mencari nilai *Heatloss* pada dapat menggunakan persamaan 4 (Cengel Yunus 2006):

$$\text{Total heatloss} = Q_k + Q_c + Q \quad (7)$$

Q_k = Perpindahan kalor secara konduksi

Q_c = Perpindahan kalos secara konveksi

Q = Perpindahan kalor secara radiasi

II. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian Yang digunakan

Untuk mengetahui proses kerja alat pelebur sampah plastik menjadi *paving block*, maka dilakukan pengujian untuk mengambil data operasi yang akan memberikan gambaran kinerja alat tersebut. Parameter yang diambil dalam langkah pengujian yaitu:

- Bahan Material**
proses peleburan, langkah pertama terlebih dahulu dengan melakukan penimbangan bahan plastik dan berat bahan yang akan dimasukkan kedalam tungku pelebur.
- Memasukan Plastik ke dalam Tungku**
Potongan bahan plastik di masukan ke dalam tungku pelebur dengan ditekan agar potongan plastik lebih cepat meleleh bahan plastik tersebut.
- Waktu Proses Peleburan**
Waktu pada saat melakukan proses peleburan yaitu dengan mencatat waktu, pada saat dimulainya proses peleburan dan juga pada saat proses peleburan selesai.
- Proses Peleburan**
Setelah terjadi proses peleburan, kemudian sampah plastik yang sudah dileburkan sampai menjadi pasta lalu ditungkan, keluar menuju ke tempat penampungan/cetakan *paving block*. Proses ini terus menerus sampai bahan plastik mencair menjadi *paving block* yang sudah disediakan cetakannya

2.2 Alat dan Bahan

- Alat
- Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:
 - Termokopel untuk mengukur suhu perpindahan panas yang terjadi pada tungku peleburan.
 - Toolset untuk membuka dan mengencangkan baut pada tungku peleburan
 - Timbangan digital untuk mengukur massa plastik
 - Kompor gas digunakan untuk memanaskan tungku peleburan.
 - Safety valve* digunakan untuk pengamanan tekanan agar tidak melebihi standar keamanan.
 - Stopwatch digunakan untuk mengontrol waktu saat peleburan.

Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Bahan sampah plastic diantaranya bungkus mie instan dan bungkus kopi, plastik belanja, botol bekas.
- Liquefied Petroleum Gas* (LPG).

2.3 Mesin Peleburan Sampah Plastik

Mesin pelebur sampah plastik menggubakan material rangka yaitu besi UNP 10 dengan dimensi 100x50x5 mm dan tungkunya menggunakan material stanlesstil dengan dimensi 250x180 mm.



Gambar 1. Alat Peleburan Sampah Plastik

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Peleburan Sampah Plastik

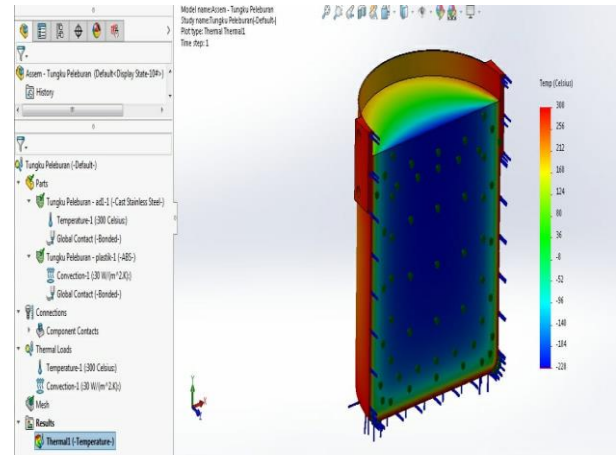
No	Nama komponen	Spesifikasi
1.	Motor listrik	a. Kecepatan 2850 rpm/min b. Daya 1,5 Hp / 1118 watt c. Tegangan 220 V
2.	Reduser/gear box	Ratio 1/30
3.	Pully	a. Pulley motor \varnothing 4 cm b. Pulley bagian tengah bertingkat dengan ukuran \varnothing 4 cm dan \varnothing 20 cm c. Pully reduser \varnothing 20 cm
4.	Kupling Tetap	Menyesuaikan pada as reduser
5.	Fan Bell	A41 dan A46
6.	Konstruksi Rangka	Besi UNP 10 ukuran 100x50x5 mm dan siku 40x40 mm dan 60x60 mm
7.	Konstruksi Tungku	Stanless steel diameter 250x180mm
8.	Konstruksi Pengaduk	Besi tabung diameter 25 mm
9.	Bearing	\varnothing 4 cm
10.	Roda Sliding	\varnothing 6 cm

2.3 Pengambilan Data Pengukuran

Pengujian mesin dilakukan dengan parameter temperatur tungku peleburan dengan memvariasikan waktu peleburan dan perhitungan daya adukan mixer. Pengujian performa pada tungku peleburan dilakukan untuk mengetahui laju perpindahan panas dan panas yang hilang pada tungku. Tungku peleburan sampah plastik yang di analisis perpindahan panas adapun ukuran tungku tersebut yaitu 23cm x18cm



Gambar 2. Tungku Peleburan



Gambar 3. Hasil Analisis Software FEM

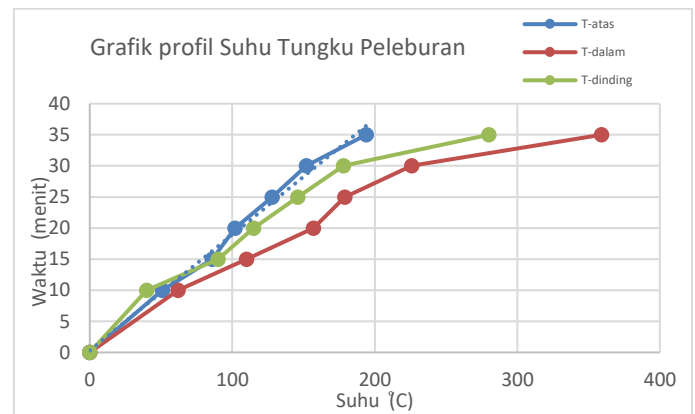
Tabel 2. Tabel Pengukuran

Waktu (menit)	Temp Dinding Tungku Atas	Temp Ruang Dalam Tungku	Temp Dinding Tungku Tengah
0			
10			
15			
20			
25			
30			
35			

Gambar 2.3 menunjukkan hasil dari analisis menggunakan software FEM menyatakan bahwa daerah warna biru mempunyai temperatur dari -228°C sampai -96°C dan daerah warna hijau menyatakan daerah dengan temperatur -52°C sampai 80°C, daerah warna kuning menyatakan dari temperatur 124°C sampai 168°C, daerah berwarna merah menyatakan dengan temperatur 212°C sampai 300°C.

2.4 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan menerapkan analisa deskriptif, yaitu statika yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atan menggambarkan data yang telah terkumpul. Data yang dihasilkan berupa gradien temperatur untuk dilakukan perhitungan laju perpindahan panas pada tungku yang akan dijadikan bahan untuk pembuatan paving block.



Gambar 4. Grafik Profil Suhu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Panas Pada Tungku

Hasil Hitungan Panas Tungku saat proses perancangan menggunakan analisis *Fenite Elemen Method* (FEM). Dalam analisis perpindahan panas yang terjadi pada tungku peleburan sampah plastik jika dilihat dari sebagian dapat dilihat dibawah ini.

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa gradient temperatur yang sangat terlihat signifikan adalah temperatur pada tungku bagian dalam dengan temperatur maksimal diatas 300 °C.

3.2 Analisa Perhitungan Kalor

3) Perhitungan kalor dimulai dengan menentukan Bilangan Reynold:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\mu} = \frac{0,94 \cdot 26,18 \cdot 0,25}{3,6} = 1,708$$

Dikarenakan Nilai bilangan reynold kurang dari 2.000 maka termasuk aliran laminar, sehingga

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{d} = \frac{4,36 \cdot 0,0036}{0,27} = 0,058 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$h_o = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{d_o}\right)^{0,25} = 1,32 \left(\frac{(280 - 40)}{0,27}\right)^{0,25} = 7,21 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Menentukan luas penampang tungku peleburan

$$A_o = 2\pi r_o L = 2 * 3,14 * 0,125 * 0,18 = 0,14 \text{ m}^2$$

$$A_i = 2\pi r_i L = 2 * 3,14 * 0,127 * 0,18 = 0,143 \text{ m}^2$$

Mencari tahanan panas tungku dalam dan tungku luar peleburan menggunakan rumus:

$$R_i = \frac{1}{h_i \cdot A_i} = \frac{1}{0,058 * 0,14} = 123,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$R_o = \frac{1}{h_o \cdot A_o} = \frac{1}{7,21 * 0,143} = 0,97 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Tahanan panas dari bahan

$$R_s = \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\mu k} = \frac{\ln \frac{0,97}{123,15}}{2 * 3,6 * 46} = 0,014 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Jumlah tahanan panas keseluruhan adalah

$$R_{tot} = R_o + R_i + R_s = 123,15 + 0,97 + 0,014 = 124,134 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Mencari koefisien keseluruhan

$$U = \frac{1}{A_o * R_{tot}} = \frac{1}{0,14 * 124,134} = 0,058 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Mencari panas total keseluruhan

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_m = 0,058 * 0,14 * (280 - 40) = 1,95 \text{ Watt}$$

3.3 Analisa *Heatloss* pada Tungku Peleburan

Analisa panas pada tungku peleburan menggunakan persamaan:

$$Q_k = k A_o \frac{\Delta T}{dx} = 0,0036 * 0,14 * \frac{280 - 40}{0,018} = 6,72 \text{ W}$$

$$Q_c = h_i \cdot A_o \cdot \Delta T = 0,058 * 0,0036 * (280 - 40) = 0,05 \text{ W}$$

Perpindahan panas secara radiasi tidak dihitung karena pada saat pengambilan data berada di ruangan, sehingga dianggap tidak ada pancaran sinar matahari. Sehingga total *heatloss* pada tungku adalah:

$$Q = Q_k + Q_c = 6,72 + 0,05 = 6,77 \text{ W}$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

- Analisis perpindahan panas yang dilakukan menggunakan analisa FEM diperoleh panas yang dapat dihasilkan oleh tungku peleburan antara 212°C sampai 300°C
- Nilai temperatur yang dihasilkan berdasarkan eksperimen diperoleh temperatur maksimal 280 °C.
- Analisis perpindahan panas tungku peleburan diperoleh 1,95 Watt dengan kalor panas terbuang sebesar 6,77 Watt.

2. Saran

Saran dari analisis tungku peleburan sampah plastik yaitu meminimalisir panas terbuang dari tungku dengan cara menambah bahan isolator sekitar tungku peleburan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gandawidura, RGG. 2019. "Desain Dan Uji Kinerja Kondensor Pirolisis Plastik." [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- [2] Holman JP. 2010. "Heat Transfer." *Department of Mechanical Engineering Southern Methodist University (US): McGraw-Hill.* 301-3
- [3] Cengel Yunus. 2006. *Heat Transfer*. Vol. 37
- [4] Irvan Okatama. 2016. *Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphthalate (Pet) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik*. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta.
- [5] Bahktiar A. *Studi Peningkatan Mutu Paving-Blok Dengan Penambahan Abu Sekam Padi.* (Jurnal). Staf Pengajar Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [6] Joko Winarno. *Rancangan Bangunan Tungku Peleburan Aluminium Berbahan Bakar Padat Densn Sistem Aliran Udara Paksa.* (Jurnal). Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta.
- [7] Widjaja, E. S. 2012. *Percancangan program Aplikasi Penggambaran Pola Molding pada Mesin Pencetak Plastik dengan Metode Tabu Search*. Jakarta: Bina Nusantara Unersivity.
- [8] Awaja, 2005; Karayannidis, 2003. *Salah satu sampah yang dapat didaur ulang adalah kantong plastik bekas bungkus makanan, barang, dan lain-lain.* (Jurnal).
- [9] Muhammad Fatkhi. *Perancangan Alat Uji Kekentalan Plastik Dengan Kapasitas 4cm³ Pada Temperatur Maksimal 300°C.* (Jurnal). Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [10] Firman L Sahwan, Djoko Heru Martono, Sri Wahyono dan Lies A Wisoyodharmo. *Sistem Pengelolaan Limbah Plastik Di Indonesia.* (Jurnal). Penelitian di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan.