



## Analisa Termal Sistem Pemanas pada Alat Mesin Cetak Baut Plastik Skala UMKM

Panji Fitrah Ramadhan<sup>1\*</sup>, Gunawan Hidayat<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia

Email: [panjifitrahramadhan@gmail.com](mailto:panjifitrahramadhan@gmail.com)<sup>1\*</sup>

Alamat: Jl. K.H. Ahmad Dahlan, Cirendeu, Ciputat, Tangerang, Indonesia 15419

\*Penulis korespondensi

**Abstract.** *This study aims to analyze the thermal performance of the heating system in a small-scale plastic bolt molding machine using LDPE material, in order to determine process parameters that are efficient while maintaining product quality. The method used includes experimental testing at two set-point temperatures (90 °C and 120 °C), measurement of melting time and feed mass per cycle, as well as heat balance calculations separating the contributions of conduction, convection, and radiation on the barrel heated by a band heater. In addition, the power/energy requirement per cycle and productivity projections based on hopper capacity were calculated. The results show that increasing the set-point from 90 °C to 120 °C accelerates melting from  $\pm 240$  s to  $\pm 180$  s ( $\approx 25\%$  faster). Heat transfer analysis confirmed the dominance of conduction ( $\approx 329.7$  W at 90 °C and  $\approx 471$  W at 120 °C), while convection and radiation contributions were much smaller; the total system heat rate was  $\approx 342.7$  W (90 °C) and  $\approx 490.8$  W (120 °C). The discussion highlights the process trade-off: higher set-points increase production rate and mold filling quality (due to lower melt viscosity), but may raise energy consumption per cycle and require tighter mold temperature control to limit shrinkage/warpage. The practical implications for SMEs are the need for efficiency strategies based on barrel insulation, heater contact area optimization, and correlation of temperature-time settings with quality and energy consumption targets. This study concludes that controlled temperature and heating duration, supported by simple yet targeted thermal design, can improve cycle time consistency, dimensional precision, and energy efficiency in small-scale plastic bolt molding machines.*

**Keywords:** Band Heater; Energy Efficiency; LDPE; Plastic Molding Machine; Thermal Analysis

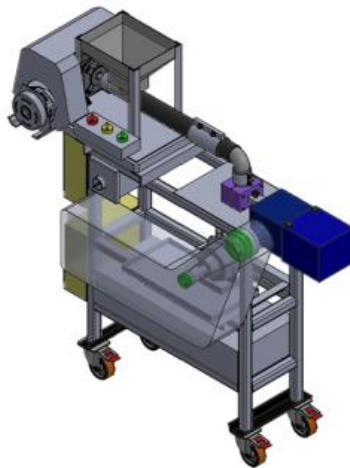
**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja termal sistem pemanas pada mesin cetak baut plastik skala UMKM berbahan LDPE untuk menemukan parameter proses yang efisien sekaligus menjaga kualitas hasil cetak. Metode yang digunakan meliputi uji eksperimental dua set-point suhu (90 °C dan 120 °C), pengukuran waktu pelelehan dan massa umpan per siklus, serta perhitungan neraca panas yang memisahkan kontribusi konduksi, konveksi, dan radiasi pada barrel yang dipanaskan band heater. Selain itu dihitung kebutuhan daya/energi per siklus dan proyeksi produktivitas berdasarkan kapasitas hopper. Hasil menunjukkan bahwa kenaikan set-point dari 90 °C ke 120 °C mempercepat pelelehan dari  $\pm 240$  s menjadi  $\pm 180$  s ( $\approx 25\%$  lebih cepat). Analisis perpindahan panas menegaskan dominasi konduksi ( $\approx 329,7$  W pada 90 °C dan  $\approx 471$  W pada 120 °C), sedangkan kontribusi konveksi dan radiasi jauh lebih kecil; total laju panas sistem tercatat  $\approx 342,7$  W (90 °C) dan  $\approx 490,8$  W (120 °C). Pembahasan menyoroti trade-off proses: set-point lebih tinggi meningkatkan laju produksi dan kualitas pengisian rongga cetakan (viskositas leleh menurun), tetapi dapat menaikkan energi per siklus dan menuntut kendali suhu mold yang lebih ketat untuk membatasi penyusutan/warpage. Implikasi praktis bagi UMKM adalah perlunya strategi efisiensi berbasis isolasi barrel, penataan area kontak heater, dan korelasi pengaturan suhu-waktu dengan target kualitas dan konsumsi energi. Studi ini menyimpulkan bahwa pengendalian suhu dan durasi pemanasan yang terukur, dengan dukungan desain termal sederhana namun tepat sasaran, mampu meningkatkan konsistensi waktu siklus, presisi dimensi, dan efisiensi energi pada mesin cetak baut plastik skala kecil

**Kata kunci:** Analisis Termal; Band Heater; Efisiensi Energi; LDPE; Mesin Cetak Plastik

### 1. LATAR BELAKAN

Industri manufaktur plastik, khususnya skala UMKM, sangat bergantung pada efisiensi sistem pemanasan dalam proses pencetakan agar dapat menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan biaya yang kompetitif. Mesin cetak plastik skala mikro umumnya menggunakan sistem pemanas berupa heater elektrik atau band heater yang ditujukan untuk melelehkan biji plastik

(seperti LDPE) agar dapat dicetak dalam rongga cetakan. Namun, efisiensi sistem tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh daya pemanas (power) dan suhu, tetapi juga oleh durasi pemanasan, distribusi panas, serta manajemen termal mold dan sirkuits pendukung lainnya. Dalam konteks ini, analisis termal sistem pemanas menjadi sangat krusial untuk memahami perilaku pemanasan, memperkirakan kebutuhan energi, serta meminimalkan cacat produk seperti shrinkage dan sink marks.



**Gambar 1.** Desain Alat Cetak Baut Plastik.

Pertama, sistem pemanasan yang terlalu rendah suhu atau singkat durasi preheat dapat menyebabkan viskositas material lebih tinggi, sehingga material sulit mengisi rongga cetakan dengan maksimal yang berpotensi menyebabkan kecacatan produk seperti short shot atau sink marks. Sebaliknya, suhu terlalu tinggi atau durasi terlalu panjang justru dapat menyebabkan cacat bentuk seperti sink marks yang lebih besar, disertai risiko degradasi plastik jika mencapai ambang degradasi termal (Zhou et al., 2023). Penelitian Junaedi et al. (2022), menyatakan bahwa durasi pemanasan dan temperatur merupakan “faktor kritis dalam proses manufaktur plastik yang memengaruhi titik leleh, kualitas aliran, stabilitas dimensi, dan sifat mekanik produk akhir”. Oleh karena itu, pengaturan yang tepat terhadap variabel-variabel ini merupakan prasyarat penting untuk mencapai output yang optimal dalam skala kecil yang sangat sensitif terhadap efisiensi dan kualitas.

Selain itu, perkembangan sistem manajemen energi terpadu untuk mesin injection molding menunjukkan pendekatan yang lebih canggih dalam menjaga keseimbangan termal antara elements. Salah satu studi terbaru oleh Tang et al. (2025) dalam jurnal *Symmetry* mengusulkan sistem terintegrasi yang menggabungkan cooling mold, heat pump, dan preheating material dalam satu manajemen termal. Model ini memungkinkan pemulihan panas dari sistem pendinginan untuk digunakan kembali dalam tahap pemanasan bahan, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan stabilitas suhu mold secara keseluruhan. Meskipun solusi

ini ditujukan untuk mesin injection molding industri berkapasitas besar, prinsip efisiensi termal yang diterapkan relevan juga untuk pengembangan sistem pemanas skala UMKM. Model ini bisa diadopsi dalam bentuk sederhana misalnya pemakaian isolasi lebih baik, pengembalian panas secara pasif, atau metode preheating biji plastik sebelum feeding ke mesin cetak.

Lebih jauh, riset di bidang cooling mold juga memberikan wawasan penting akan pentingnya manajemen termal bukan hanya di tahap pemanasan, tetapi juga pendinginan. Penggunaan saluran pendingin conformal cooling channels (CCC) telah terbukti meningkatkan seragamitas pendinginan, mempercepat siklus, dan mengurangi cacat akibat warp dan shrinkage (Cunha et al., 2025). Meski fokus utama dari draft ini adalah sistem pemanas, pemahaman akan pendinginan mold yang efisien tetap bisa secara tidak langsung mencegah overheating lokal dan mempercepat stabilisasi suhu, sehingga mempresisikan waktu siklus dan kualitas produk cetak.

Berdasarkan kerangka di atas, terdapat beberapa tantangan utama dalam pengembangan mesin cetak plastik skala UMKM. Pertama, mesin harus memanaskan biji plastik hingga titik lelehnya contohnya LDPE (~110–130 °C) dengan distribusi panas yang merata dalam volume kecil, dalam waktu terukur. Kedua, durasi pemanasan dan suhu harus dijaga agar efisiensinya optimal: terlalu cepat, material tidak mencair sempurna; terlalu lama, muncul risiko degradasi atau cacat bentuk. Ketiga, integrasi termal baik pada tahap pemanasan maupun pendinginan, serta potensi pemulihan panas, perlu dipertimbangkan untuk desain yang lebih hemat energi. Terakhir, kendali sistem (misalnya sensor suhu, timer, atau isolasi termal) harus bisa diterapkan secara sederhana dan andal di lingkungan UMKM yang sumber daya terbatas.

Dalam perkembangan sistem ini, analisis termal dapat dilakukan melalui pendekatan seperti: simulasi numerik distribusi suhu, pengujian eksperimental pengaruh variabel suhu dan durasi pada kemampuan cetakan, serta studi efisiensi energi. Sebagai contoh, perancangan sistem hot press untuk daur ulang plastik HDPE menunjukkan bahwa variasi temperatur (160–240 °C), durasi pemanasan, dan tekanan memiliki pengaruh langsung terhadap konsumsi energi dan hasil cetakan (Akhmad et al., 2018). Meskipun konteksnya berbeda (sheet vs batang cetak), pendekatan pengujian faktor suhu dan waktu serupa bisa diadaptasi untuk mesin cetak plastik skala UMKM. Hal ini membuka potensi penelitian empiris langsung sebagaimana diajukan dalam draft awal, yaitu menganalisa pengaruh suhu (misalnya 90 °C vs 120 °C), daya heater, dan volume biji plastik terhadap efisiensi pemanasan dan kualitas cetakan.

Dengan memadukan konsep termal dalam literature dengan kebutuhan praktis di lapangan, penelitian ini bertujuan: (1) memahami perilaku pemanasan biji plastik LDPE dalam heater tabung skala kecil; (2) menentukan parameter suhu dan durasi optimal yang

menghasilkan cetakan bat plastik ukuran tertentu (misalnya  $M24 \times 50$  mm dengan massa 30 gr per cetakan); (3) mengkalkulasi kebutuhan kalor serta efisiensi energi sistem; dan (4) menawarkan rekomendasi desain pemanas (isolasi, jenis heater, sensor) untuk UMKM. Berdasarkan pendekatan ini, diharapkan diperoleh sistem pemanasan yang mampu mencetak dengan waktu konsisten, bahan mencair sempurna, hasil presisi, serta konsumsi energi yang efisien.

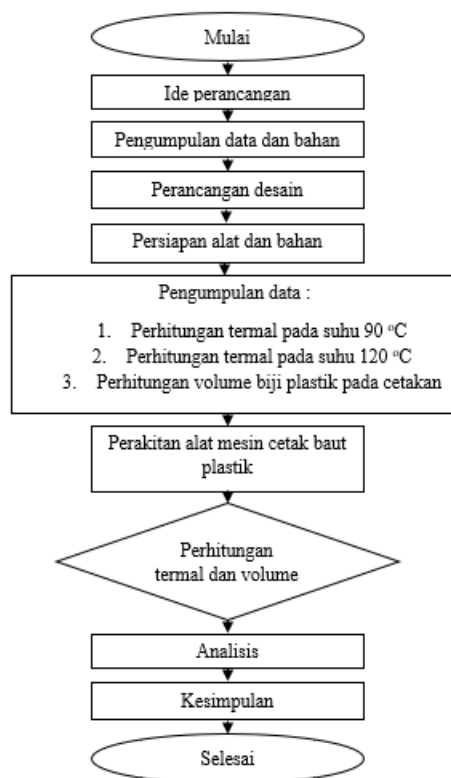
## **2. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan mesin cetak baut plastik skala UMKM ini disusun secara sistematis melalui beberapa tahapan. Tahap awal dimulai dari ide perancangan, yaitu merumuskan konsep dasar mesin cetak yang sederhana, efisien, dan sesuai dengan keterbatasan sumber daya pada skala usaha kecil. Ide perancangan ini kemudian dikembangkan melalui studi literatur, dengan meninjau berbagai referensi ilmiah, buku, dan hasil penelitian terdahulu mengenai sistem pemanasan, proses pencetakan, serta karakteristik termal material plastik, khususnya LDPE.

Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data dan bahan, yang mencakup identifikasi kebutuhan alat, komponen, serta bahan baku plastik yang akan digunakan. Data yang dikumpulkan meliputi sifat termal plastik, spesifikasi heater band, serta parameter rancangan mesin. Kemudian dilakukan perancangan desain berupa gambar teknik dan skema sistem pemanas, diikuti persiapan alat dan bahan seperti motor listrik, gearbox, heater band, timer, serta instrumen pengukuran (thermo gun, jangka sorong, dan timbangan digital).

Pada tahap berikutnya dilakukan pengumpulan data eksperimental dengan fokus pada perhitungan termal dan volume. Uji dilakukan pada dua variasi suhu, yaitu  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur terhadap efisiensi pemanasan dan hasil cetakan. Selain itu, dilakukan pengukuran volume biji plastik yang masuk ke dalam cetakan untuk memastikan kecukupan pengisian rongga. Setelah seluruh komponen siap, dilakukan perakitan mesin cetak baut plastik, dilanjutkan dengan pengujian termal dan perhitungan volume aktual.

Tahap akhir meliputi analisis hasil uji, yang dilakukan dengan membandingkan data eksperimental terhadap teori serta standar desain, guna mengevaluasi kinerja sistem pemanas dan kualitas cetakan. Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan mengenai kelayakan desain, efisiensi energi, serta rekomendasi perbaikan. Dengan metode ini, diharapkan mesin cetak baut plastik dapat dioperasikan secara konsisten, menghasilkan produk presisi, dan mendukung peningkatan produktivitas UMKM.



**Gambar 2.** Diagram Alir.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Spesifikasi heater band

Dalam penelitian ini komponen utama yang digunakan sebagai alat dalam melakukan pembuatan biji plastik adalah heater band. Adapun spesifikasi heater band yang digunakan dalam mesin pencetak biji plastik ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 1.** Spesifikasi heater band.

Ket	Heater Band 1 (Kecil)	Heater Band 2 (Kecil)
Ø	30 mm	25 mm
P	100 mm	30 mm
Max. °C	400°C	400°C

#### Analisa sistem pemanas

Kalor total diperlukan untuk memanaskan barrel, kalor yang terdisipasi oleh konveksi udara luar, dan kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan biji plastik. Pada pengujian waktu yang dibutuhkan untuk melelehkan biji plastik pada mesin pencetak biji plastik digunakan dua pengujian suhu yaitu pada saat heater ditentukan disuhu 90 °C dan 120 °C. adapun analisa perhitungan yang didapatkan setelah dilakukannya pengujian adalah sebagai berikut :

**Rumus perhitungan daya heater 90 °C**

Berdasarkan hasil pengujian waktu yang dibutuhkan untuk melelehkan biji plastik pada suhu 90 °C yaitu selama 240 s, sehingga daya heater yang diperoleh dapat diketahui sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui } m &= 30 \text{ g} \\
 g &= 10 \text{ m/s}^2 \\
 EP &= m \cdot g \cdot h \\
 &= 0,03 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} \times 0,03 \text{ cm} \\
 &= 0,09 \text{ j} \\
 \text{Sehingga : } p &= E / t \\
 &= \frac{0,09 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{240 \text{ s}} \\
 &= \frac{0,09 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{240 \cdot \text{s}}{1} \\
 &= 0,09 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot 240 \text{ s} \\
 &= 21,6 \text{ j/s}
 \end{aligned}$$

**Rumus yang digunakan untuk menghitung daya heater dalam sebuah rangkaian listrik:**

$$\begin{aligned}
 P &= v \times l \text{ atau } P = I^2 R \\
 P &= v^2 / R
 \end{aligned}$$

Keterangan :

- P = daya heater (watt)
- v = tegangan listrik (volt)
- l = arus listrik (amper)
- R = hambatan (  $\Omega$  ohm )

Maka diketahui :

$$\begin{aligned}
 P &= v \times l \\
 &= 220 \text{ v} \times 5 \text{ l} \\
 &= 1100 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

**Rumus perpindahan kalor pada temperature 90 °C**

$$P = \frac{m \cdot e (T_1 - T_2)}{860 \cdot t}$$

Keterangan :

- P = kalor barrel (j)
- M = massa barrel (kg)

$c$  = panas jenis screw ( $\frac{j}{kg^{\circ}C}$ )

$T_1$  = Temperatur akhir ( $^{\circ}C$ )

$T_2$  = Temperatur ruangan ( $^{\circ}C$ )

$t$  = waktu pemanasann heater ( s )

$$P = \frac{m.c.(T_1 - T_2)}{860.t}$$

$$P = \frac{0,03 \text{ kg} \cdot 460 \frac{j}{kg^{\circ}C} \cdot (90^{\circ}C)}{860 \cdot 240}$$

$$P = \frac{1,242 \text{ j}}{206.400}$$

$$P = 0,00000602 \text{ j/s}$$

Dalam teorinya suhu pemrosesan biji plastik LDPE mencapai kisaran 160 sampai 240<sup>0</sup>C. Namun pada penelitian ini dilakukan pada suhu dibawah teori pemrosesan normal biji plastik LDPE. Hal ini dilakukan untuk mengurangi beban daya pada listrik yang digunakan karena mesin ini digunakan untuk jenis usaha UMKM. Suhu 90<sup>0</sup> pada percobaan dilakukan biji plastik sudah menghasilkan lelehan yang cukup baik untuk pembuatan baut platik.

#### **Rumus Perhitungan Daya Heater 120 °C**

$$P = E / t : \quad t = P \times E$$

Keterangan :

$P$  = Daya Heater ( *Watt* )

$E$  = Energi ( *j* )

$t$  = Waktu ( *S* )

Berdasarkan hasil pengujian waktu yang dibutuhkan untuk *melelehkan* biji plastic pada suhu heater 120<sup>0</sup>C ialah selama 180 s, sehingga daya heater yang diperoleh dapat diketahui sebagai berikut :

Diketahui  $m = 0,03 \text{ g}$

$g = 10 \text{ m/s}$

$Ep = m \cdot g \cdot h$

$= 0,03 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} \times 0,3 \text{ cm}$

$= 0,09 \text{ j}$

Sehingga :  $P = E / t$

$$= \frac{0,09 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{180 \text{ s}}$$

$$= \frac{0,09 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{s^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{180.s}{1} \\
 &= 0,09kg.m.180 \\
 &= 16,2 j/s
 \end{aligned}$$

Sedangkan pada rumus diatas daya heater yang digunakan belum *diketahui* sehingga dapat dilakukan perhitungan daya heater menggunakan rumus sebagai berikut:

**Rumus yang digunakan untuk menghitung daya heater dalam sebuah rangkaian listrik**

$$\begin{aligned}
 P &= v \times I \text{ atau } P = I^2 R \\
 P &= v^2 / R
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$P$  = Daya Heater ( Watt )

$v$  = Tegangan Listrik (  $v$  )

$I$  = Arus Listrik (  $A$  )

$R$  = Hambatan (  $\Omega$  )

Maka diketahui :

$$\begin{aligned}
 P &= v . I \\
 &= 220v \times 5I \\
 &= 1100 Watt
 \end{aligned}$$

**Rumus perpindahan kalor pada temperature  $120^{\circ}C$**

$$P = \frac{m.c.(T_1 - T_2)}{860.t}$$

Keterangan :

$P$  = kalor barrel ( j )

$m$  = massa barrel ( kg )

$c$  = panas jenis material screw (  $\frac{j}{kg^{\circ}C}$  )

$T_1$  = Temperatur akhir (  $^{\circ}C$  )

$T_2$  = Temperatur ruangan (  $^{\circ}C$  )

$t$  = waktu pemanasann heater ( s )

$$P = \frac{m.c.(T_1 - T_2)}{860.t}$$

$$P = \frac{0,03 kg . 460 \frac{j}{kg^{\circ}C} . (120^{\circ}C)}{860.180}$$

$$P = \frac{1,656 j}{154.800}$$

$$P = 0,010697 j/s$$

Sedangkan suhu  $120^{\circ}\text{C}$  digunakan sebagai perbandingan suhu  $90^{\circ}\text{C}$ , untuk menghasilkan lelehan yang lebih cair yang bertujuan lelehan biji plastik dapat dicetak dengan mudah.

**Tabel 2.** Hasil uji coba.

<b>Suhu</b>	<b>Masa</b>	<b>Keterangan</b>
$90^{\circ}$	0,03 kg	Tidak Sesuai
$120^{\circ}$	0,03 kg	Sesuai

### **Perbandingan waktu lelehan menggunakan suhu heater $90^{\circ}\text{C}$ dan $120^{\circ}\text{C}$**

Berikut ini adalah perbandingan waktu lelehan menggunakan suhu  $90^{\circ}\text{C}$  dan  $120^{\circ}\text{C}$ , dimana biji plastik menjadi lelehan plastik.

#### ***Heater $90^{\circ}\text{C}$***

Berdasarkan uji praktik yang telah dilakukan pada penelitian ini, berikut merupakan hasil lelehan biji plastik pada suhu heater  $90^{\circ}\text{C}$  dengan waktu 5 menit atau 300 detik, untuk menjadi seperti dibawah ini.



**Gambar 2.** Hasil Lelehan Suhu  $90^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 3.** Hasil Lelehan Suhu  $120^{\circ}\text{C}$ .

#### ***Heater $120^{\circ}\text{C}$***

Berdasarkan uji praktik yang telah dilakukan pada penelitian ini, berikut merupakan hasil lelehan biji plastik pada suhu heater  $120^{\circ}\text{C}$  dengan waktu 6 menit atau 360 detik, untuk menjadi seperti dibawah ini.

### Perpindahan panas konduksi, konversi dan radiasi

Konduksi adalah proses perpindahan panas memelalui zat padat atau cair tanpa perpindahan.

$$Q = (k \cdot A \cdot \Delta T) / d$$

Keterangan :

Q = laju perpindahan panas

k = konduktivitas termal

A = luas penampang

$\Delta T$  = perbedaan suhu

d = jarak perpindahan panas

$$A = \pi \cdot d \cdot L$$

$$\text{- Band Heater 1: } A = \pi \cdot 0,03 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,00942 \text{ m}^2$$

$$\text{- Band Heater 2: } A = \pi \cdot 0,03 \text{ m} \cdot 0,025 \text{ m} = 0,002355 \text{ m}^2$$

Perhitungan Q untuk masing-masing band heater:

$$\text{- Band Heater 1 (90}^\circ\text{C): } Q = (50 \text{ W/mK} \cdot 0,00942 \text{ m}^2 \cdot 70 \text{ K}) / 0,1 \text{ m} \\ = 329,7 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 1 (120}^\circ\text{C): } Q = (50 \text{ W/mK} \cdot 0,00942 \text{ m}^2 \cdot 100 \text{ K}) / 0,1 \text{ m} \\ = 471 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 2 (90}^\circ\text{C): } Q = (50 \text{ W/mK} \cdot 0,002355 \text{ m}^2 \cdot 70 \text{ K}) / 0,025 \text{ m} \\ = 329,7 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 2 (120}^\circ\text{C): } Q = (50 \text{ W/mK} \cdot 0,002355 \text{ m}^2 \cdot 100 \text{ K}) / 0,025 \text{ m} \\ = 471 \text{ W}$$

Konversi adalah proses perpindahan panas melalui pergerakan fluida.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Keterangan :

Q = laju perpindahan panas

h = koefisien perpindahan panas konveksi

A = luas permukaan

$\Delta T$  = perbedaan suhu antara permukaan dan fluida

$$A = \pi \cdot d \cdot L$$

$$\text{- Band Heater 1: } A = \pi \cdot 0,03 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,00942 \text{ m}^2$$

$$\text{- Band Heater 2: } A = \pi \cdot 0,03 \text{ m} \cdot 0,025 \text{ m} = 0,002355 \text{ m}^2$$

Perhitungan Q untuk masing-masing band heater:

$$\text{- Band Heater 1(90}^\circ\text{C): } Q = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,00942 \text{ m}^2 \cdot (90-20)\text{K} = 6,594 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 1(120}^{\circ}\text{C): } Q = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,00942 \text{ m}^2 \cdot (120-20)\text{K} = 9,42 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 2(90}^{\circ}\text{C): } Q = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,00235 \text{ m}^2 \cdot (90-20)\text{K} = 1,6485 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 2(120}^{\circ}\text{C): } Q = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,00235 \text{ m}^2 \cdot (120-20)\text{K} = 2,355 \text{ W}$$

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik.

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Keterangan:

Q = laju perpindahan panas

$\varepsilon$  = emisivitas permukaan

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzmann

A = luas permukaan

T = suhu absolut

$$\text{- Band Heater 1 (90}^{\circ}\text{C = 363 K): } Q = 0,8 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \cdot 0,00942 \text{ m}^2 \cdot (363 \text{ K})^4 = 6,41 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 1 (120}^{\circ}\text{C = 393 K): } Q = 0,8 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \cdot 0,00942 \text{ m}^2 \cdot (393 \text{ K})^4 = 10,35 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 2 (90}^{\circ}\text{C = 363 K): } Q = 0,8 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \cdot 0,002355 \text{ m}^2 \cdot (363 \text{ K})^4 = 1,60 \text{ W}$$

$$\text{- Band Heater 2 (120}^{\circ}\text{C = 393 K): } Q = 0,8 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \cdot 0,002355 \text{ m}^2 \cdot (393 \text{ K})^4 = 2,59 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Total (90}^{\circ}\text{C)} &= Q_{\text{konduksi}} + Q_{\text{konveksi}} + Q_{\text{radiasi}} \\ &= 329,7 \text{ W} + 6,594 \text{ W} + 6,41 \text{ W} = 342,704 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total (120}^{\circ}\text{C)} &= Q_{\text{konduksi}} + Q_{\text{konveksi}} + Q_{\text{radiasi}} \\ &= 471 \text{ W} + 9,42 \text{ W} + 10,35 \text{ W} = 490,77 \text{ W} \end{aligned}$$

## **Perbandingan hasil lelehan menggunakan suhu heater 90 °C dan 120 °C**

### ***Percobaan I***

Pada uji coba percobaan ini kami menguji coba dengan menggunakan suhu 90<sup>0</sup>C, Untuk proses pembuatan 1 baut plastik dengan suhu 90<sup>0</sup>C, memakan waktu 4 menit atau 280 detik untuk menjadi seperti dibawah ini.



**Gambar 4.** Hasil Percobaan 1.



**Gambar 5.** Hasil percobaan II.

### ***Percobaan II***

Pada uji coba percobaan ke 2 ini kami menguji coba dengan menggunakan suhu 120<sup>0</sup>C, untuk proses pembuatan 1 baut plastik dengan suhu 120<sup>0</sup>C, memakan waktu 3 menit atau 180 detik untuk menjadi seperti dibawah ini.

### **Perancangan baut dalam satuan waktu**

Pada perancangan ini meninjau dari perbandingan hasil perhitungan secara teoritis volume dari hopper, jumlah biji plastik HDPE sebesar 20 gram untuk sekali proses cetakan baut, waktu tempuh pemanas sebesar 180 detik, serta temperatur yang telah ditentukan sebesar 90<sup>0</sup>C dan 120<sup>0</sup>C. Volume total hopper sebesar 4601 gram.

Maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah hasil Baut} &: \frac{\text{volume total hopper}}{\text{berat biji plastik /pcs}} \\ &: \frac{4601 \text{ gram}}{20 \text{ gram/pcs}} \\ &: 230 \text{ pcs} \end{aligned}$$

Dalam satu kali proses cetakan baut membutuhkan waktu sebesar 180 detik. Maka dapat dihitung perbandingan hasil dari jumlah hasil baut sebesar 230 pcs dengan waktu yang dibutuhkan satu kali proses sebesar 180 detik. Maka dapat dihitung perbandingan tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Waktu tempuh 1 pcs / 180 detik maka,} \\ \text{Total baut} &: \frac{1 \text{ proses}}{180 \text{ detik}} \\ 230 \text{ pcs} &: \frac{1 \text{ pcs/proses}}{180 \text{ detik}} \\ \text{Proses cetakan} &: 230 \times 180 \text{ detik} \\ &: 41400 \text{ detik} \end{aligned}$$

Jadi dalam beban hopper sebesar 4601 gram dapat dikerjakan selama 41.400 detik dengan menghasilkan baut sebanyak 230 pcs.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian suhu 90 derajat dapat melelehkan biji plastik LDPE dengan waktu 240 s, dengan daya heater yang dihasilkan pada mesin pencetak baut plastik 21,6 J/s. Sedangkan dengan suhu 120<sup>0</sup>C dapat melelehkan biji plastik LDPE dengan waktu 180 s, dengan daya heater yang dihasilkan pada mesin pencetak baut plastik 16,2 J/s. Kalor yang digunakan dalam proses pelelehan biji plastik LDPE dalam pembuatan baut plastik dengan ukuran M24 x 50 mm dengan masing masing massa yang digunakan 30 gram. Untuk kalor yang dibutuhkan pada suhu 90<sup>0</sup>C adalah 0,00000602 J/s, sedangkan untuk suhu 120<sup>0</sup>C adalah 0,010697 J/s. Berdasarkan hasil penelitian volume biji plastik yang mengisi rongga cetakan dalam pembuatan baut plastik terdapat beberapa perhitungan yang dihasilkan berdasarkan dari bentuk cetakan baut plastik tersebut. Berdasarkan rumus volume tabung menghasilkan volume sebesar 50,86 mm<sup>3</sup>, dan volume persegi sebesar 144 dan volume segienam sebesar 65,5 mm<sup>2</sup> sehingga volume yang mengisi rongga cetakan baut plastik adalah 260,36 mm<sup>3</sup>. Berdasarkan hasil analisis konduktivitas sistem pemanas band heater pada mesin cetak baut plastik skala UMKM. Dapat diketahui sistem termal menggunakan temeperatur 90<sup>0</sup> dan 120<sup>0</sup> pada band

heater ke 1 dan band heater ke 2. Adapun hasil konduktivitas pada sistem pemanas band heater ke 1 dengan temperatur  $90^0$  sebesar  $7,998 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$  dan sistem pemanas band heater ke 1 dengan temperatur  $120^0$  sebesar  $5,418 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$ . Adapun hasil konduktivitas pada sistem pemanas band heater ke 2 dengan temperatur  $90^0$  sebesar  $23,29 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$  dan sistem pemanas band heater ke 1 dengan temperatur  $120^0$  sebesar  $15,77 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$ .

### Saran

Sebaiknya dalam penganalisaan ini untuk tingkat lanjutan dari penganalisaan yang telah saya lalui ini pengujian akan jauh lebih baik jika dilakukan dengan berbagai macam variasi suhu untuk mendapatkan hasil lelehan yang terbaik. Dalam penelitian ini material yang digunakan biji plastik LDPE untuk pengembangan teori dan praktik dalam penelitian ini, diharapkan pembaca dapat menggunakan material jenis lain untuk menghasilkan ilmu pengetahuan yang lebih beragam.

### DAFTAR REFERENSI

- Akhmad, S., Lumintu, I., & Arendra, A. (2018). Development of hot press molding for HDPE recycling and process characterization. *Atlantis Highlights in Engineering*, 1, 925–932.
- Gaspar-Cunha, A., Melo, J., Marques, T., & Pontes, A. (2025). A review on injection molding: Conformal cooling channels, modelling, surrogate models and multi-objective optimization. *Polymers*, 17(7), 919.
- Gupta, P., & Saxena, R. (2024). Performance analysis of biodegradable polymers in injection molding: A review. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 158, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2023.101057>
- Hwang, J., & Lee, S. (2024). Effect of processing parameters on the mechanical properties of injection molded parts: A comprehensive review. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(10), 17589. <https://doi.org/10.1002/app.49761>
- Junaedi, H., Baig, M., Dawood, A., Albahkali, E., & Almajid, A. (2022). Effect of the matrix melt flow index and fillers on mechanical properties of polypropylene-based composites. *Materials*, 15(21), 7568.
- Kim, D., Lee, H., & Lim, C. H. (2023). Improving efficiency in injection molding with intelligent manufacturing systems. *Manufacturing Science and Engineering*, 145(4), 120–130. <https://doi.org/10.1115/1.4057123>
- Kwon, M., Lee, D. H., & Kim, S. S. (2024). Numerical analysis of injection molding process for polymeric materials: Recent developments and future challenges. *Journal of Polymer Engineering*, 44(3), 333–350. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2023-0134>
- Li, X., Wang, Y., & Zhao, L. (2023). Advances in injection molding simulation: From material selection to process optimization. *Journal of Manufacturing Processes*, 61, 245–257. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.11.031>

- Liu, B., Zhou, J., & Xu, L. (2024). Multi-objective optimization of injection molding process for high-performance polymers. *Materials Design & Processing*, 8(1), 55–70. <https://doi.org/10.1016/j.mdp.2023.04.004>
- Patel, A., & Sharma, S. (2025). The role of mold design in minimizing defects in injection molded parts: A computational approach. *Polymer Engineering and Science*, 65(2), 410–420. <https://doi.org/10.1002/pen.26348>
- Smith, J. T., & Zhang, Z. (2023). Advanced polymer composites for injection molding: Materials and process optimization. *Journal of Composite Materials*, 57(2), 124–138. <https://doi.org/10.1177/0021998322114027>
- Tan, W., & Lu, S. (2023). Enhancing mold design for low-shrinkage polymers in injection molding: A computational study. *Journal of Polymer Science and Technology*, 48(2), 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.jpolytec.2023.07.005>
- Tang, Y., Hu, H., Ding, Y., Wang, T., Xie, P., & Yang, W. (2025). Thermal performance analysis of integrated energy management system for mold cooling/heat pump/material preheating of injection-molding machine. *Symmetry*, 17(5), 637.
- Xu, Z., Yang, J., & Liang, Q. (2025). Simulation and optimization of cooling systems in injection molding: Recent advances and applications. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 127(5), 1231–1244. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-10420-9>
- Zhou, Z.-W., Yang, H.-Y., Xu, B.-X., Ting, Y.-H., Chen, S.-C., & Jong, W.-R. (2023). Prediction of short-shot defects in injection molding by transfer learning. *Applied Sciences*, 13(23), 12868.