

## PERANCANGAN ALAT PENGECORAN LOGAM METODE *EXPANDED POLYSTYRENE* DENGAN BENTUK V-BELT PULLEY TYPE B

Bona Frans Willy Simamora<sup>1</sup>, Yusuf Umardani<sup>2</sup>, Agus Suprihanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: bonasimamora18@gmail.com

### Abstrak

Polistirena adalah polimer organik sintesis serbaguna dengan rumus kimia  $(C_8H_8)_n$ . Ini bisa berupa plastik serbaguna yang digunakan untuk membuat berbagai macam produk konsumen. Sebagai plastik keras dan padat, sering digunakan dalam produk yang membutuhkan kejernihan, seperti kemasan makanan dan peralatan laboratorium. Polistirena secara kimia tahan terhadap asam dan basa, tetapi mudah larut oleh banyak pelarut hidrokarbon terklorinasi dan aromatik. Ketika dikombinasikan dengan berbagai pewarna, aditif atau plastik lainnya, polistirena digunakan untuk membuat peralatan, elektronik, suku cadang mobil, mainan, pot dan peralatan berkebun dan banyak lagi. Dewasa ini perkembangan industri pengecoran logam semakin berkembang pesat, banyak metode yang digunakan dalam proses pengecoran logam, semakin banyak permintaan di pasaran untuk memproduksi benda – benda cor yang memiliki tingkat kerumitan tinggi. Kondisi ini mendorong industri pengecoran logam untuk mengembangkan teknologi dalam proses pengecoran. Permintaan dipasaran untuk benda – benda cor yang memiliki kerumitan tinggi membutuhkan cetakan yang khusus, maka dari itu perlu pengembangan dalam pembuatan cetakan, salah satunya adalah penggunaan *Styrofoam* untuk pola cetakan. Pengecoran *expanded polystyrene* merupakan salah satu jenis pengecoran yang menggunakan bahan *Styrofoam* sebagai bahan untuk membuat pola cetakan yang di tanam dalam pasir dan menjadi cetakan. Pada saat logam cair di masukkan ke dalam pasir dan menjadi cetakan. Pada saat logam cair dimasukkan ke dalam cetakan *Styrofoam* akan mencair dan menguap sehingga tempat itu akan di isi cairan logam.

**Kata kunci:** *expendable mold*; pengecoran logam; polistirena; *styrofoam*

### Abstract

Polystyrene is a versatile organic polymer with the chemical formula  $(C_8H_8)_n$ . It can be a versatile plastic used to make a wide variety of consumer products. As a hard and dense plastic, it is often used in products that require clarity, such as food packaging and laboratory equipment. Polystyrene is chemically resistant to acids and bases but is readily soluble by many chlorinated and aromatic discoveries. When combined with various dyes, additives, or other plastics, polystyrene is used to make tools, electronics, auto parts, toys, pots and gardening tools, and more. Today the development of the metal industry is growing rapidly. This condition supports the metal industry to develop technology in the giving process. the market demand high-complexity cast objects that require concrete, therefore special development is needed for the manufacture of concrete, one of which is the use of *Styrofoam* for concrete patterns. Casting expands polystyrene is a type of video that uses *styrofoam* material to make concrete patterns that are planted in sand and become concrete. When the molten metal is put into the sand and becomes concrete. When the metal is put into the *Styrofoam* concrete it will melt and evaporate so that the place will be filled with liquid metal.

**Keywords:** *expendable mold*; metal casting; polystyrene; *styrofoam*

### 1. Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan industri pengecoran logam semakin berkembang pesat, banyak metode yang digunakan dalam proses pengecoran logam, semakin banyak permintaan di pasaran untuk memproduksi benda – benda cor yang memiliki tingkat kerumitan tinggi. Kondisi ini mendorong industri pengecoran logam untuk mengembangkan teknologi dalam proses pengecoran. Permintaan dipasaran untuk benda – benda cor yang memiliki kerumitan tinggi membutuhkan cetakan yang khusus, maka dari itu perlu pengembangan dalam pembuatan cetakan, salah satunya adalah penggunaan *Styrofoam* untuk pola cetakan. Pengecoran *expanded polystyrene* merupakan salah satu jenis pengecoran yang menggunakan bahan *Styrofoam* sebagai bahan untuk membuat pola cetakan yang di tanam dalam pasir dan menjadi cetakan. Pada saat logam cair di masukkan ke dalam pasir dan menjadi cetakan. Pada saat logam cair dimasukkan ke dalam

cetakan *Styrofoam* akan mencair dan menguap sehingga tempat itu akan di isi cairan logam. Adapun kekurangan dari penggunaan cetakan *Styrofoam* yaitu, pembuatan cetakan masih dilakukan secara manual. Maka dari itu untuk menyelesaikan permasalahan ini perlu dilakukan terobosan dan pembaharuan dalam membuat cetakan *Styrofoam*, oleh karena itu terciptalah ide untuk “Perancangan Alat Pengecoran Logam Metode *Expanded Polystyrene* dengan Bentuk V-Belt Pulley Type B”.

Pembuatan alat ini bertujuan untuk memudahkan industri pengecoran logam dalam membuat dan membentuk cetan pola pengecoran dari *Styrofoam*, dengan alat ini diharapkan mampu mempermudah industri – industri pengecoran logam dalam membuat cetakan yang memiliki tingkat kerumitan yang tinggi, sehingga dengan adanya alat ini dapat meningkatkan kinerja industri pengecoran logam.

## 2. Metode Penelitian

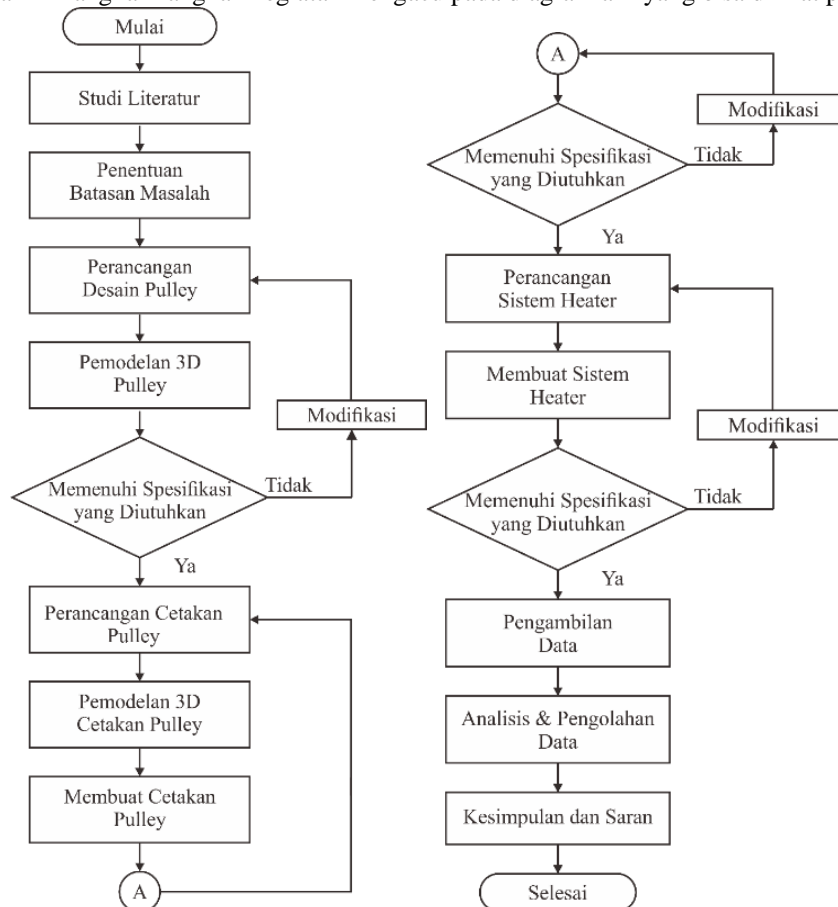
### 2.1 Skema Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat yang berguna untuk membuat pengecoran yang menggunakan polistirena akan menjadi lebih mudah. Pembuatan atau pembentukan polistirena menggunakan cara *expanded polystyrene*, dimana polistirena akan mengembang di dalam cetakan dan mendapatkan tekanan sehingga polistirena tersebut saling berikatan satu sama lain.

Polistirena dibuat dengan merangkai, atau mempolimerisasi, *styrene*, bahan kimia penyusun yang digunakan dalam pembuatan banyak produk. *Styrene* juga tercipta secara alami dalam makanan seperti stroberi, kayu manis, kopi dan daging sapi. Polistirena terdiri dari *styrene* monomer yang diperoleh melalui petrokimia cair. Polistirena terdiri dari rantai hidrokarbon panjang dengan gugus fenil yang terkait dengan atom karbon lainnya. Polistirena dihasilkan dari monomer *styrene* melalui polimerisasi vinil radikal bebas. Polistirena juga merupakan komponen dari karet keras yang disebut karet poli (*styrene-butadiene-styrene*) SBS. Karet SBS juga merupakan elastomer termoplastik. Polistirena dapat berupa padat atau busa. Polistirena yang umum digunakan adalah transparan, keras dan rapuh. Ini adalah penghalang yang buruk untuk oksigen dan uap air dan memiliki titik leleh yang relatif rendah. Karena merupakan polimer termoplastik, ia memiliki wujud padat (seperti kaca) pada suhu kamar dan mengalir jika dipanaskan di atas 100 °C (212 °F). Saat didinginkan akan menjadi kaku lagi

### 2.2 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah kegiatan mengacu pada diagram alir yang bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan dari diagram alir penelitian yang telah dikerjakan:

1. Studi Literatur

Studi literatur diperlukan untuk menyelesaikan persoalan dalam perancangan desain yang akan digunakan untuk pengembangan awal dengan menelusuri sumber- sumber dalam bentuk jurnal, buku maupun lembaga-lembaga dunia yang bergerak di bidang pengembangan pengecoran logam.

2. Penentuan Batasan Masalah

Penentuan Batasan Masalah diperlukan untuk menentukan batasan-batasan dalam masukan variasi pada proses simulasi.

3. Perancangan Desain Pulley

Perancangan desain pulley sesuai dengan studi literatur yang dibutuhkan. Pulley dirancang berdasarkan standar yang ada.

4. Pemodelan 3D Pulley

Pemodelan 3D Pulley dilakukan pada aplikasi *Solidworks*. Pemodelan bertujuan agar lebih mudah dalam memahami jenis pulley yang akan dibuat patternnya.

5. Perancangan Cetakan Pulley

Perancangan cetakan pulley yaitu melakukan perhitungan dimensi agar cetakan pulley dapat bekerja dengan baik. Cetakan pulley dirancang sesuai dengan dimensi pulley yang sudah ditentukan. Dirancang sedemikian rupa agar memudahkan pembentukan pattern yang terbuat dari polistirena.

6. Pemodelan 3D Cetakan Pulley

Pemodelan 3D cetakan pulley dilakukan setelah dilakukan perancangan. Hasil rancangan cetakan pulley akan dituangkan dalam bentuk 3D pada aplikasi *Solidworks*. Pemodelan 3D berguna agar lebih mudah memahami dalam pembuatan cetakan.

7. Membuat Cetakan Pullry

Pembuatan cetakan pulley dilakukan dengan cara manual. Cetakan terbuat dari plat dan pipa logam. Plat dan pipa logam diolah secara manual dengan menggunakan mesin kerja seperti bor, mesin las dan gerinda.

8. Perancangan Sistem Heater

Perancangan sistem heater dilakukan sesuai dengan studi literatur yang telah dilakukan. Sistem heater dirancang dengan menggunakan band heater yang suhunya akan dapat dikontrol.

9. Membuat Sistem Heater

Pembuatan sistem heater dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dilakukan. Pembuatan sistem heater akan dirangkai dengan menghubungkan elemen pemanas dengan pengatur dan sensor suhu. Sehingga dapat mengukur dan mengatur suhu air yang akan diipankan.

10. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengujian alat yang sudah sesuai dengan spesifikasi. Data akan diatur dalam bentuk grafik dan mudah dipahami.

11. Analisis dan Pengolahan Data

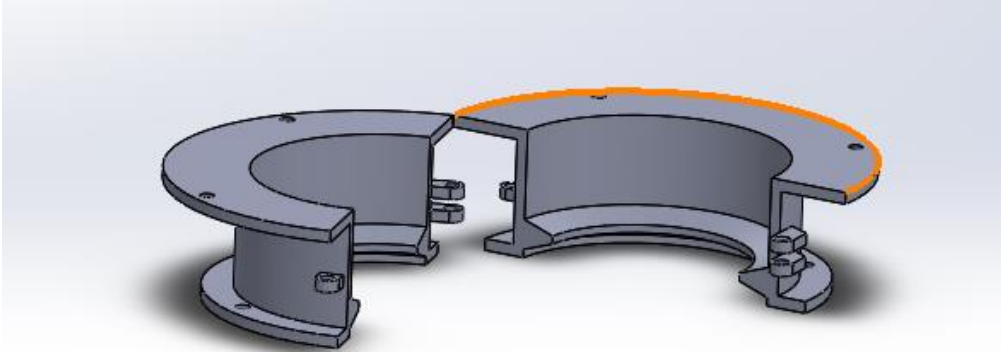
Analisis dan pengolahan data, sebelum dianalisis data akan diolah terlebih dahulu memudahkan melihat perbedaan dari setiap variasi yang ada. Kemudian data tersebut akan dianalisa untuk mendapatkan hasil dari penelitian.

12. Kesimpulan dan Saran

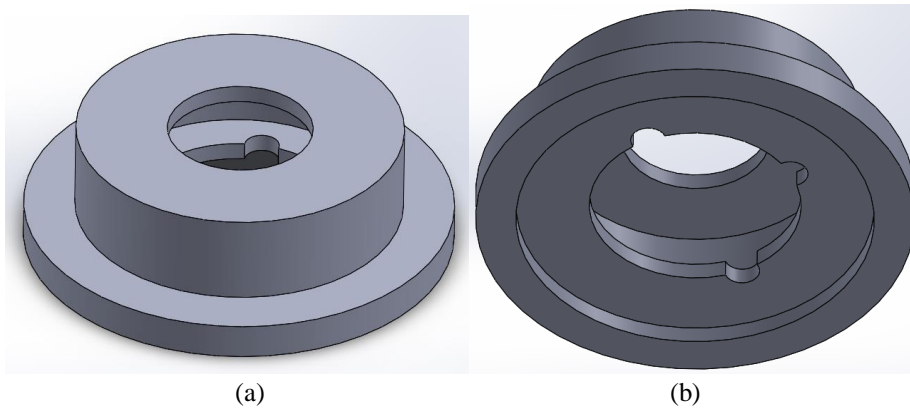
Kesimpulan dan Saran berisi hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan anjuran yang akan membuat penelitian lebih baik.

### 2.3 Model 3D Pattern dan Cetakan

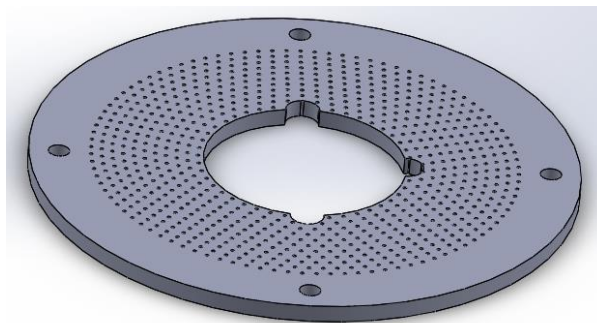
Ada beberapa Bagian dari cetakan yang dimodelkan secara 3D pada aplikasi *Solidworks*. Jenis – jenis bagian tersebut adalah Cetakan, Pematik pattern, Filter Uap, Bagian tengah cetakan, Penampung air, dan pattern V belt Pully type-B. Hasil Akhirnya dapat dilihat pada gambar – gambar dibawah ini.



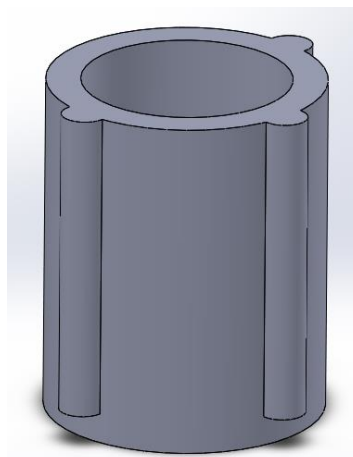
**Gambar 2.** Cetakan (Solidworks 2016)



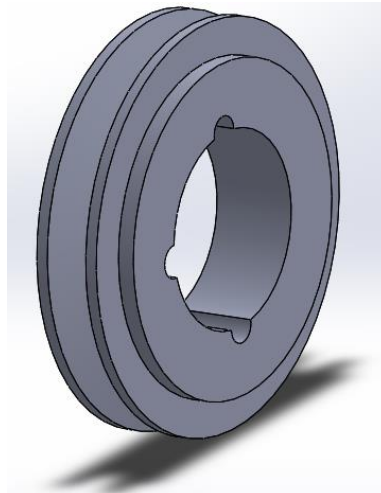
**Gambar 3.** Pemadat Pattern, (a) tampak atas, (b) tampak bawah (Solidworks 2016)



**Gambar 4.** Filter Uap (Solidworks 2016)



**Gambar 5.** Bagian Tengah Cetakan (Solidworks 2016)

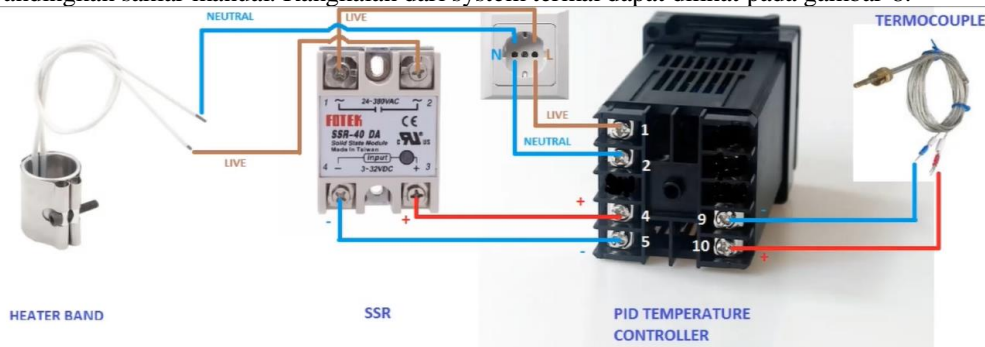


**Gambar 6.** Pattern V Belt Pulley Type-B (Solidworks 2016)

#### 2.4 Rangkaian Sistem Pemanas

Sistem Termal dirangkai menggunakan komponen utama berupa perangkat pengatur suhu *Thermo Controller* PID REX C100 serta sensor suhu yang digunakan yaitu termokopel tipe k. Termokopel tipe k dapat mengukur suhu mulai dari 0°C Sampai 400°C. Rangkaian akan berhubungan langsung dengan catu daya.

Sistem termal dirangkai dengan menggunakan sistem otomatis, dimana suhu yang ingin dicapai akan secara otomatis oleh elemen pemanas dan elemen pemanas akan mati sendirinya saat telah mencapai atau melebihi target suhu. Sistem dapat bekerja secara otomatis dikarenakan rangkaian dipasangkan dengan *Solid State Relay* (SSR). *Solid State Relay* mempunyai fungsi sebagai saklar, dimana *Solid State Relay* akan berfungsi untuk memutuskan dan menyambungkan arus secara otomatis. Memiliki fungsi yang sama dengan saklar manual pada umumnya, tetapi SSR memiliki efisiensi yang sangat baik dibandingkan saklar manual. Rangkaian dari system termal dapat dilihat pada gambar 8.



**Gambar 7.** Rangkaian Sistem Pemanas

##### 1. *Band Heater*

Elemen pemanas yang dipakai adalah band heater. Band heater cocok digunakan pada wadah yang berbentuk silinder. Wadah yang digunakan untuk menampung air berbentuk silinder sehingga cocok untuk menggunakan band heater sebagai pemanasnya.

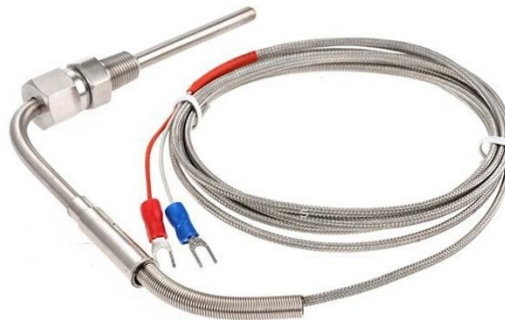


Gambar 8. *Band Heater*

## 2. Termokopel

Termokopel adalah sensor yang digunakan untuk mengukur suhu. Cara kerja dari termokopel yaitu hanya dengan dua kabel berbeda yang disambungkan di salah satu ujungnya. Dengan ini, tegangan dihasilkan di sepanjang kabel yang meningkat besarnya karena perbedaan suhu antara ujung yang terhubung dan ujung terbuka meningkat. Semua yang diperlukan untuk menentukan suhu di persimpangan kabel hanya mengukur tegangan di ujung terbuka, membuat penyesuaian untuk mengkompensasi perbedaan antara suhu ujung terbuka dan suhu ujung terbuka yang digunakan dalam kalibrasi, dan mengubah tegangan kompensasi ini menjadi suhu menggunakan kalibrasi untuk jenis kawat.

Termokopel pada perancangan ini digunakan sebagai sensor suhu. Termokopel akan diletakkan di air untuk mengukur temperaturnya. Air akan dipanaskan hingga menguap dan diperlukan pengukuran suhu untuk hal tersebut. Termokopel yang dipakai pada penelitian ini adalah termokopel tipe k. Termokopel tipe ini dapat mengukur suhu sampai 400°C.



Gambar 9. Termokopel

## 3. Thermo Controller

*Thermo Controller* adalah perangkat yang digunakan untuk mengontrol pemanas atau peralatan lain dengan membandingkan sinyal sensor dengan titik setel dan melakukan perhitungan sesuai dengan deviasi antara nilai-nilai tersebut. Perangkat ini akan digunakan untuk mengatur suhu air yang akan dipanaskan oleh heater. Untuk jenis Thermo controller yang digunakan yaitu PID Rex C100.



Gambar 10. *Thermo Controller* PID Rex C100

## 4. Solid State Relay

*Solid State Relay* adalah relai yang tidak memiliki kontak bergerak. Dalam hal pengoperasian, SSR tidak jauh berbeda dengan relai mekanis yang memiliki kontak bergerak. SSR, bagaimanapun, menggunakan elemen switching semikonduktor, seperti thyristor, triac, dioda, dan transistor. SSR adalah relai yang menggunakan elemen switching semikonduktor. Mereka menggunakan semikonduktor optik yang disebut *photocoupler* untuk mengisolasi sinyal input

dan output. *Photocoupler* mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik dan menyampaikan sinyal melalui ruang, sehingga sepenuhnya mengisolasi bagian input dan output sambil menyampaikan sinyal dengan kecepatan tinggi. Juga, SSR terdiri dari komponen elektronik tanpa kontak mekanis. Oleh karena itu, SSR memiliki berbagai fitur yang tidak dimiliki oleh relai mekanis.



Gambar 11 Solid State Relay

## 2.5 Cara Kerja Alat

Cara kerja alat pencetak polistirena adalah sebagai berikut:

1. Sumber energi listrik di ubah menjadi energi panas oleh band heater.
2. Energi panas dari band heater mendidihkan air pada silinder penampung air hingga menjadi uap.
3. Band heater di kendalikan menggunakan termo controller dan termokopel.
4. Solid state relay (SSR) yang dipasangkan pada rangkaian akan memutuskan listrik secara otomatis pada band heater saat suhu air telah mencapai 100°C.
5. Uap akan memanaskan dan mengembangkan butir – butir polistirena karna butir – butir polistirena akan mengembang saat terkena uap.
6. Polistirena akan terkena tekanan didalam cetakan dan akan saling menempel dengan polistirena lainnya hingga membentuk pola cetakan.

## 2.6 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam pengujian alat pencetak polistirena adalah:

1. Mempersiapkan Alat pencetak polistirena. Alat cetakan dipersiapkan dengan cara menyatukan beberapa bagian dari alat pencetak, alat pencetak disatukan dengan baut.
2. Mempersiapkan bahan yang akan dicetak yaitu adalah butir – butir polistirena yang masih berukuran  $\pm 0,5$  mm.
3. Memanaskan air terlebih dahulu untuk memperbesar Styrofoam menjadi *pre-expanded polystyrene*.
4. Masukkan butir – butir polistirena sebanyak yang diperlukan kedalam air yang sudah mendidih agar butir – butir polistirena mengembang menjadi *pre-expanded polystyrene*, dimana *pre-expanded polystyrene* yaitu adalah polistirena yang sudah mengembang tetapi masih belum mencapai ukuran maksimum dari polistirena tersebut. Perkiraan waktu polistirena berubah menjadi *pre-expanded polustyrene* adalah sekitar 3 menit.
5. Sebelum *pre-expanded polustyrene* dimasukkan kedalam cetakan, cetakan harus disemprotkan mold release terlebih dahulu agar mudah dalam melepaskan pattern,
6. Masukkan *pre-expanded polustyrene* kedalam cetakan yang sudah disiapkan.
7. Ratakan *pre-expanded polustyrene* yang sudah dimasukkan dan tutup cetakan dengan penutup cetakan.
8. Persiapkan terlebih dahulu sistem pemanas dan masukkan air ke dalam silinder penampung air.
9. Nyalakan system pemanas dengan menghubungkannya dengan sumber daya dan mengatur suhu termo kontroler menjadi 100°C sesuai suhu air saat menguap.
10. Tunggu hingga air berubah menjadi uap kemudian letakkan cetakan yang sudah dipersiapkan ke dalam silinder penampung air yang berisi uap. Perkiraan polistirena akan mengembang secara sempurna yaitu sekitar 17 menit.
11. Angkat cetakan polistirena saat sudah selesai pada proses penguapan.
12. Tunggu hingga cetakan menjadi dingin, cetakan didinginkan sesuai suhu ruang.
13. Buka Kembali cetakan yang telah disatukan dengan baut.
14. Keluarkan hasil cetakan.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Pattern dari Cetakan Polistirena

Pattern polistirena yang dihasilkan dipengaruhi oleh berbagai macam dampak seperti waktu sintering dan banyaknya intensitas polistirena yang dimasukkan kedalam alat pencetak polistirena. Waktu dan intensitas polistirena sangat mempengaruhi perekatan antar polistirena.

Waktu sintering pada alat pencetak polistirena akan berpengaruh pada kekuatan pelekatan antar polistirena. Semakin lama proses sintering dilakukan maka akan semakin kuat kekuatan perekatan antar polistirena yang akan terbentuk, tetapi apabila proses sintering terlalu lama juga, maka sebagian dari polistirena tersebut akan hangus karena panas yang diterima

dari cetakan dan uap air. Data dari pattern yang terbentuk berdasarkan waktu sintering dapat dilihat pada table 1.

**Tabel 1.** Data Hasil Pengujian Pattern terhadap waktu *sintering*

No.	Lama Pengujian (menit)	Tingkat pengembangan polistirena ( <i>Coarsening</i> )	Tingkat Pemadatan ( <i>Densification</i> )
1.	11	Butir polistirena sudah mulai mengembang tetapi belum merata.	Tingkat Pemadatan masih rendah dan polistirena masih mudah untuk terpisah.
2.	14	Butir polistirena lebih mengembang dan sudah lumayan merata tetapi bagian atas dari pattern masih belum mendapatkan pengembangan yang sama.	Butir polistirena mulai memadat dan sudah saling berikatan tetapi kurang merata untuk bagian atas dari pattern.
3.	17	Butir polistirena sudah mengembang dengan baik dan merata pada setiap sudut dari cetakan.	Butir polistirena menjadi padat dan sudah saling berikatan secara rata pada seluruh bagian pattern.
4.	20	Butir polistirena sudah mengembang secara rata tetapi pada bagian tepi pattern sudah meleleh dan menyebabkan polistirena tersebut menempel pada cetakan.	Ikatan sudah baik tetapi dikarenakan waktu <i>sintering</i> yang terlalu lama, maka akan merusak pattern yang sudah dibentuk karena bagian tepi pattern meleleh.



**Gambar 12.** Pengujian Selama 11 Menit



**Gambar 13.** Pengujian Selama 14 Menit



**Gambar 14.** Pengujian Selama 17 Menit





**Gambar 15.** Pengujian Selama 21 Menit

Tingkat kepadatan dari pattern sangat dipengaruhi oleh intensitas polistirena yang akan di masukkan ke dalam cetakan. Intensitas polistirena yang pas akan mendapatkan tekanan yang sesuai pada setiap polistirena untuk berikatan. Semakin banyak intensitas polistirena yang dipakai untuk pattern ke dalam cetakan maka akan semakin padat pula pattern yang akan dihasilkan. Sebaliknya jika intensitas polistirena yang dipakai terlalu sedikit maka polistirena tidak akan mendapatkan tekanan dan polistirena tidak akan saling berikatan. Data hasil pattern berdasarkan intensitas polistirena dapat dilihat pada tabel 2.

**Table 2.** Data Hasil Tingkat Pemadatan berdasarkan Intensitas Polistirena

No,	Intensitas Butir Polistirena (mm <sup>3</sup> )	Tingkat Pemadatan ( <i>Densification</i> )
1.	13	Butir polistirena hanya memadat pada beberapa bagian saja atau tingkat pemadatan yang terjadi tidak merata.
2.	17	Butir polistirena sudah memadat dengan baik dan rata pada setiap sisi dari pattern. Tekanan yang dihasilkan juga sesuai.
3.	21	Butir polistirena sudah memadat dengan baik tetapi karena polistirena yang digunakan terlalu banyak maka bentuk polistirena menjadi berubah dan alat tidak dapat menahan perkembangan polistirena.



**Gambar 16.** Pengujian Intensitas Butir Polistirena 13 mm<sup>3</sup>



**Gambar 17.** Pengujian Intensitas Butir Polistirena 17 mm<sup>3</sup>



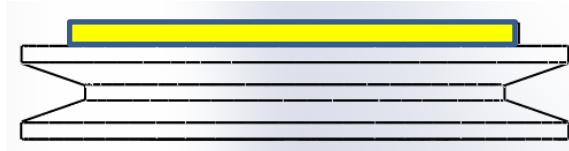
**Gambar 18.** Pengujian Intensitas Butir Polistirena 21 mm<sup>3</sup>

### 3.2 Pengukuran Volume Pattern

Volume pattern diukur berdasarkan hasil yang telah dibuat menggunakan alat pencetak polistirena. Volume pattern juga dapat dipakai untuk melihat seberapa besar tingkat pengembangan dari polistirena saat sebelum dan sesudah proses *sintering*.

Perhitungan volume pattern dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Volume Pattern Bagian 1



**Gambar 19.** Volume Pattern Bagian 1

Dapat dilihat pada gambar 19 bahwa volume Bagian 1 pattern berbentuk silinder yang dimana mempunyai lubang berbentuk lingkaran dibagian tengahnya. Perhitungan volume bagian 1 pattern dapat dihitung dengan rumus berikut.

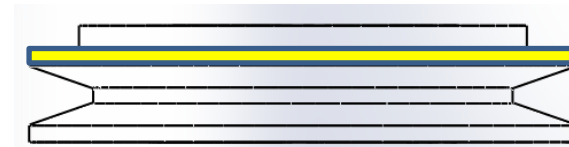
$$\begin{aligned} Vol P1 &= \text{Silinder 1} - \text{Lubang} \\ Vol P1 &= \pi r_1^2 t_1 - \pi r_l^2 t_1 \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana Vol P1 adalah volume bagian 1 pattern,  $r_1$  adalah jari – jari bagian 1,  $r_l$  merupakan jari – jari lubang dan  $t_1$  adalah tinggi dari bagian 1 pattern.

$$\begin{aligned} Vol P1 &= \pi r_1^2 t_1 - \pi r_l^2 t_1 \\ Vol P1 &= \pi \cdot 48,17^2 \cdot 5 - \pi \cdot 28,6^2 \cdot 5 \\ Vol P1 &= 36447,955 \text{mm}^3 - 12848,485 \text{mm}^3 \\ Vol P1 &= 23599,469 \text{mm}^3 \end{aligned}$$

Jadi volume bagian 1 pattern adalah 23599,469mm<sup>3</sup>.

2. Volume Pattern Bagian 2



**Gambar 20.** Volume Pattern Bagian 2

Volume bagian 2 pattern dapat dilihat pada gambar 20. Serupa dengan volume bagian 1 pattern dimana bagian 2 pattern juga memiliki bentuk silinder. Perhitungan volume bagian 2 relatif sama dengan perhitungan volume bagian 1 pattern menggunakan rumus.

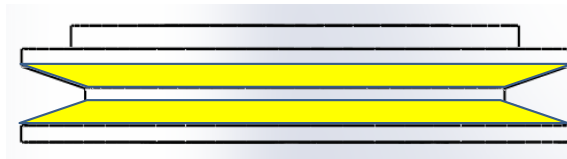
$$\begin{aligned} Vol P2 &= \text{Silinder 2} - \text{Lubang} \\ Vol P2 &= \pi r_2^2 t_2 - \pi r_l^2 t_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana Vol P2 merupakan volume bagian 2 pattern,  $r_2$  adalah jari – jari silinder bagian 2 pattern dan  $t_2$  merupakan tinggi dari bagian 2 pattern.

$$\begin{aligned} Vol P2 &= \pi r_2^2 t_2 - \pi r_l^2 t_2 \\ Vol P2 &= \pi \cdot 59,61^2 \cdot 7,74 - \pi \cdot 28,6^2 \cdot 7,74 \\ Vol P2 &= 86403,05 \text{mm}^3 - 19889,455 \text{mm}^3 \\ Vol P2 &= 66513,594 \text{mm}^3 \end{aligned}$$

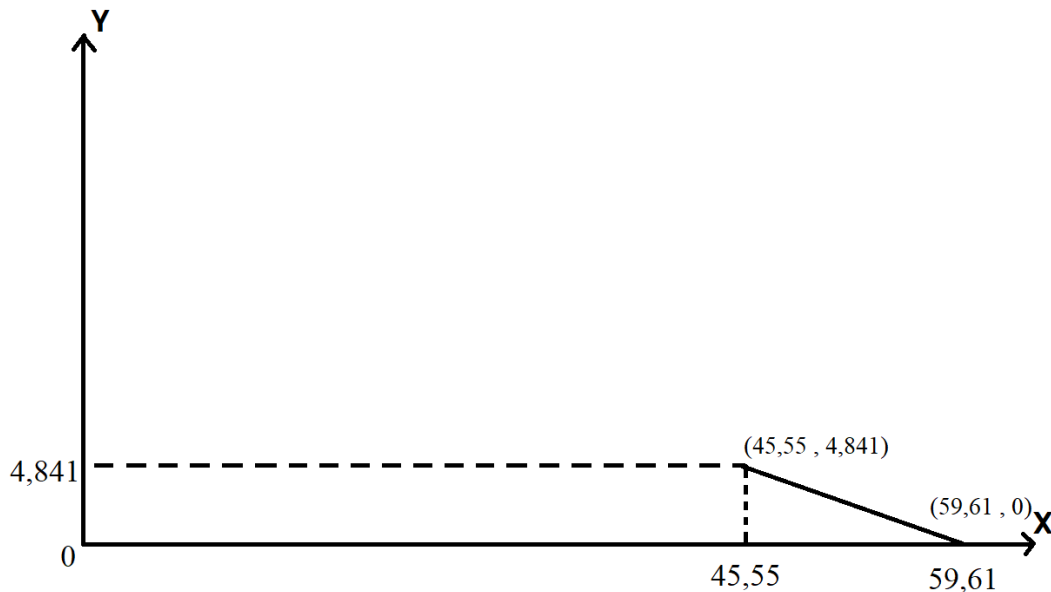
Jadi Volume Bagian 2 Pattern adalah 66513,594mm<sup>3</sup>.

### 3. Volume Pattern Bagian 3



**Gambar 21.** Volume Pattern Bagian 3

Volume bagian 3 pattern terdiri dari 2 bagian yang identik. Berbentuk kerucut yang terpotong pada bagian atasnya dan memiliki lubang ditengah – tengahnya. Volume bagian 3 dapat diihitung menggunakan metode integral dalam mengitung volume benda putar. Sebelum mengitung menggunakan integral, terlebih dahulu harus mengetahui persamaan garis dari bagian 3 pattern tersebut. Garis bagian 3 pattern tersebut dapat dilihat pada Gambar 22.



**Gambar 22.** Garis Volume Pattern Bagian 3

Untuk mencari volume bagian 3 pattern menggunakan metode integral maka perlu mencari tahu persamaan garis dari bagian 3 tersebut yaitu dengan menggunakan rumus.

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \quad (3)$$

Dimana  $(x_1, y_1)$  yaitu titik  $(59,61, 0)$  dan  $(x_2, y_2)$  adalah  $(45,55, 4,841)$ . Titik – titik tersebut dimasukkan kedalam persamaan (3).

$$\begin{aligned} \frac{y - 0}{4,841 - 0} &= \frac{x - 59,61}{45,55 - 59,61} \\ \frac{y}{4,841} &= \frac{x - 59,61}{-14,06} \\ -\frac{14,06y}{4,841} &= x - 59,61 \\ -2,904y &= x - 59,61 \\ x &= 59,61 - 2,904y \\ f(y) &= 59,61 - 2,904y \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan fungsi persamaan garis bagian 3 dari pattern, maka dilanjutkan dengan metode integral.

$$Vol p3 = \pi \int_a^b [f(y)]^2 dy \quad (4)$$

Dimana Vol p3 merupakan volume silinder bagian 3. a dan b merupakan jangkauan atau tinggi dari bagian 3 pattern dan  $f(y)$  adalah fungsi dari persamaan garis y. Masukkan nilai – nilai yang diketahui kedalam persamaan (4).

$$Vol p3 = \pi \int_a^b [f(y)]^2 dy$$

$$\begin{aligned}
 Vol\ p3 &= \pi \int_0^{4,841} (59,61 - 2,904y)^2 dy \\
 Vol\ p3 &= \pi \int_0^{4,841} (3553,352 - 346,214y + 8,433y^2) \\
 Vol\ p3 &= \pi [3553,352y - 173,107y^2 + 2,811y^3]_0^{4,841} \\
 Vol\ p3 &= \pi [(3553,352 \cdot 4,841 - 173,107 \cdot 4,841^2 + 2,811 \cdot 4,841^3) - (3553,352 \cdot 0 - 173,107 \cdot 0^2 + 2,811 \cdot 0^3)] \\
 Vol\ p3 &= \pi [(17201,777 - 4056,821 + 318,916) - (0)] \\
 Vol\ p3 &= \pi [13463,872]
 \end{aligned}$$

$$Vol\ p3 = 42298mm^3$$

Setelah menghitung Vol p3 maka Vol p3 harus dikurangi dengan lubang yang ada pada bagian tengah pattern.

$$lubang = \pi r_l^2 t_3 \tag{5}$$

$$lubang = \pi \cdot 28,6^2 \cdot 4,841$$

$$lubang = 12439,903mm^3$$

Jumlah total volume bagian 3 pattern yaitu dapat dihitung dengan

$$Vol\ P3 = 2(Vol\ p3 - lubang) \tag{6}$$

Dikalikan dengan 2 karena Bagian 3 pattern merupakan 2 bagian yang identik

$$Vol\ P3 = 2(42298mm^3 - 12439,903mm^3)$$

$$Vol\ P3 = 2(29858,099)$$

$$Vol\ P3 = 59716,199mm^3$$

Jadi volume bagian 3 pattern adalah 59716,199mm<sup>3</sup>.

#### 4. Volume Pattern Bagian 4



**Gambar 23.** Volume Pattern Bagian 4

Volume bagian 4 pattern dapat dilihat pada gambar 23. Volume bagian 4 pattern merupakan bagian tengah dari pattern. Volume bagian 4 pattern berbentuk silinder sama dengan volume bagian 1 dan 2, sehingga perhitungan yang dilakukan mempunyai cara yang sama. Perhitungan volume bagian 4 pattern yaitu dengan rumus.

$$\begin{aligned}
 Vol\ P4 &= Silinder\ 4 - Lubang \\
 Vol\ P4 &= \pi r_4^2 t_4 - \pi r_l^2 t_4 \tag{7}
 \end{aligned}$$

Dimana, Bag 4 merupakan volume bagian 4 pattern, r<sub>4</sub> adalah jari – jari silinder bagian 4, dan t<sub>4</sub> merupakan tinggi dari bagian 4 pattern.

$$Vol\ P4 = \pi r_4^2 t_4 - \pi r_l^2 t_4$$

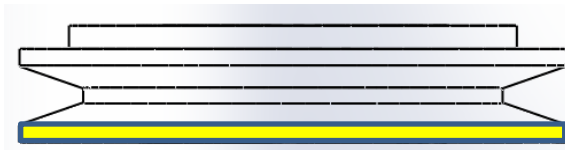
$$Vol\ P4 = \pi \cdot 45,55^2 \cdot 4,1 - \pi \cdot 28,6^2 \cdot 4,1$$

$$Vol\ P4 = 26724,555mm^3 - 10535,758mm^3$$

$$Vol\ P4 = 16188,797mm^3$$

Jadi Volume bagian 4 pattern adalah 16188,797mm<sup>3</sup>.

#### 5. Volume Pattern Bagian 5



**Gambar 24.** Volume Pattern Bagian 5.

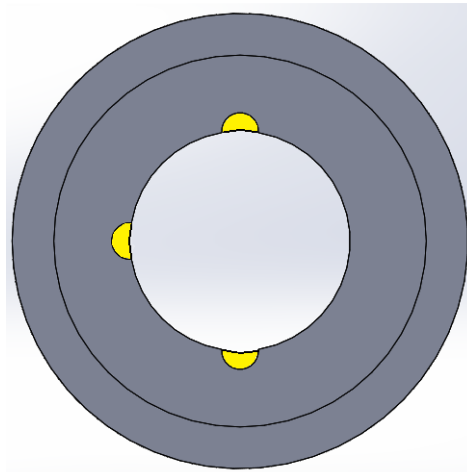
Volume bagian 5 pattern dapat dilihat pada gambar 24. Volume bagian 5 pattern merupakan bagian paling bawah pattern. Bagian ini berbentuk silinder dan mempunyai lubang pada bagian tengahnya. Volume bagian 5 pattern dapat dihitung menggunakan rumus.

$$\begin{aligned} Vol P5 &= \text{Silinder 5} - \text{Lubang} \\ Vol P5 &= \pi r_5^2 t_5 - \pi r_l^2 t_5 \end{aligned} \quad (8)$$

Bag 5 merupakan Volume bagian 5 pattern,  $r_5$  adalah jari – jari silinder bagian 5 dan  $t_5$  adalah tinggi dari pattern bagian ke-5.

$$\begin{aligned} Vol P5 &= \pi \cdot 59,61^2 \cdot 6,2 - \pi \cdot 28,6^2 \cdot 6,2 \\ Vol P5 &= 69211,746 \text{mm}^3 - 15932,122 \text{mm}^3 \\ Bag 5 &= 53279,623 \text{mm}^3 \end{aligned}$$

#### 6. Volume Pattern Bagian 6



**Gambar 25.** Volume Lingkaran Pengunci

Bagian terakhir yang harus dihitung merupakan Volume lingkaran pengunci. Bagian ini merupakan bagian kosong yang mengurangi volume total pattern dan terdiri dari 3 bagian yang identik. Perhitungan volume bagian ini dapat dilakukan dengan rumus.

$$Vol P6 = 3 \cdot \text{Luas Alas} \cdot t_{total} \quad (9)$$

Bag 6 merupakan volume lingkaran pengunci, Luas alas yaitu  $36,89 \text{mm}^2$  yang di dapatkan melalui pengukuran aplikasi solidworks dan  $t_{total}$  adalah jumlah semua tinggi pattern.

$$\begin{aligned} Vol P6 &= 3 \cdot 36,89 \text{mm}^2 \cdot 33,142 \text{mm} \\ Vol P6 &= 3667,825 \text{mm}^3 \end{aligned}$$

Jadi Volume Lingkaran pengunci adalah  $3667,82 \text{mm}^3$ .

Setelah semua Volume Bagian pattern telah dihitung maka volume tersebut dijumlahkan.

$$Vol Pattern = Vol P1 + Vol P2 + Vol P3 + Vol P4 + Vol P5 - Vol P6$$

$$\begin{aligned} Vol Pattern &= 23599,469 \text{mm}^3 + 66513,594 \text{mm}^3 + 59716,199 \text{mm}^3 + 16188,797 \text{mm}^3 + \\ & 53279,623 \text{mm}^3 - 3667,825 \text{mm}^3 \\ Vol Pattern &= 215629,86 \text{mm}^3 \end{aligned}$$

Total volume pattern yaitu  $215629,86 \text{mm}^3$  atau sama dengan  $215,629 \text{cm}^3$ .

**Tabel 3.** Data Hasil Peningkatan Volume Polistirena

Volume Awal	Volume Akhir
17 $\text{cm}^3$	215,629 $\text{cm}^3$

Perkembangan polistirena berubah dari  $17 \text{cm}^3$  menjadi  $215,629 \text{cm}^3$ , Maka dari pernyataan tersebut volume polistirena mengembang sebesar 12,684 kali.

#### 4. Kesimpulan

- Alat pencetak pola polistirena mampu ekerja dengan baik, hasil dari tingkat pengembangan dan pemadatan material polistirena terjadi dengan baik.

- b. Berdasarkan hasil pengujian, material butir polistirena dapat bertambah hingga 12 kali besar dari ukuran semula.
- c. Berdasarkan hasil pengujian alat untuk mendapatkan tingkat pemadatan dan pengembangan yang baik diperlukan waktu pemanasan selama 17 menit.
- d. Alat mampu menghasilkan uap sebesar 0,01647 kg/menit.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] Solidworks. 2022. Solidworks X64. America: Solidworks Corp.
- [2] Ali, M.A.K., Widyanto, S.A, Sheikh, A.K., dan Al-Shaer, B.S. 2017. Evolution of Metal Casting Technologies\_ A Historical Perspective. Warsawa: Springer.
- [3] Forsberg, C.H. 2020. Heat Transfer Principles and Applications. London: Academic Press.
- [4] Howell, J.R., Mengüç, M.P., dan Siegel, R. 2016. Thermal radiation heat transfer. Boca Raton: CRC Press.
- [5] Han, J., and Wright, L. 2022. Analytical heat transfer. Boca Raton: CRC Press.
- [6] Moran, M.J., Shapiro, H.N., Munson, B.R., dan DeWitt, D.P. 2002. Introduction to thermal systems engineering\_ thermodynamics, fluid mechanics, and heat transfer. United States of America: John Wiley and Sons, Inc.
- [7] Maafa, I.B. 2021. Pyrolysis of Polystyrene Waste: A Review. Switzerland: MDPI.
- [8] Chandra, M., Kohn, C., Pawlitz, J., dan Powell, G. Real Cost of Styrofoam. Missouri: St. Louis University.
- [9] Gao, S., Sun, R., Feng, Y., dan Hao, J. 2020. Research Progress of Wearable Electric Heating Elements.
- [10] Maharana, T., Negi Y.S., dan Mohanty, B. 2007. Review Article Recycling of Polystyrene. Uttar Pradesh: Taylor and Francis.