

## DESAIN MESIN FORMING *ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT*

**\*Adrian Siregar<sup>1</sup>, Susilo Adi Widyanto<sup>2</sup>, Paryanto<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: [adrian.siregar0602@gmail.com](mailto:adrian.siregar0602@gmail.com)

### Abstrak

Pada proses thermoforming, penggunaan udara bertekanan semakin berkembang dari waktu ke waktu. Alasannya adalah karena kebutuhan masyarakat seperti kebutuhan sehari-hari sangat dibutuhkan untuk kebutuhan aktivitas sehari-hari, seperti terbuat dari material UHMW. Penelitian ini berfokus pada proses pengujian kinerja dari silinder pneumatik dengan menggunakan material Ultra High Molecular Weight Polyethylene-1000. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk menguji efisiensi dan efektivitas dari sistem piston yang bergerak pada silinder pneumatik yang digunakan pada proses penekanan sebagai alat tekan guna untuk membentuk wadah yang sesuai diinginkan selama proses thermoforming. Perancangan pada sistem pneumatik juga sudah berkembang pesat, sehingga tidak lagi dilakukan secara manual melainkan dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak, seperti komputasi dan simulasi. Penggunaan perangkat lunak ini lebih cepat dan mudah dalam proses thermoforming. Sistem pneumatik adalah alat yang menggunakan udara sebagai sumber energi, komponen yang diperlukan dalam sistem pneumatik, yaitu kompresor udara atau unit penyuplai udara, unit pengolahan udara (filter, regulator, dan lubrication), unit pengatur atau katup yang paling utama adalah silinder pneumatik yang berfungsi sebagai alat yang dapat mengubah energi udara bertekanan menjadi energi mekanik (gerak linear batang silinder). Implementasi pada sistem pneumatik sudah terbukti lebih efektif di beberapa perusahaan industri besar, seperti Automated Production Equipment, Sorting System, Emergency Breaks, dll. Dengan demikian, sistem pneumatik sangat direkomendasikan untuk aplikasi industri maupun manufaktur dalam proses thermoforming UHMW. Sehingga, proses thermoforming pada sistem pneumatik sangat dibutuhkan untuk menciptakan berbagai produk yang dapat menunjang kebutuhan konsumen.

**Kata kunci:** silinder pneumatik; *thermoforming*; *uhmw*

### Abstract

*In the thermoforming process, the use of compressed air has grown over time. The reason is because the needs of society such as daily needs are very much needed for daily activities, such as made of UHMW material. This study focuses on the performance testing process of pneumatic cylinders using Ultra High Molecular Weight Polyethylene-1000 material. The main purpose of this test is to test the efficiency and effectiveness of the piston system that moves in the pneumatic cylinder used in the pressing process as a press tool to form the desired container during the thermoforming process. The design of the pneumatic system has also developed rapidly, so that it is no longer done manually but can be done with the help of software, such as computation and simulation. The use of this software is faster and easier in the thermoforming process. The pneumatic system is a tool that uses air as an energy source, the components needed in the pneumatic system, namely an air compressor or air supply unit, an air processing unit (filter, regulator, and lubrication), the most important regulator or valve unit is the pneumatic cylinder which functions as a tool that can convert compressed air energy into mechanical energy (linear motion of the cylinder rod). Implementation of pneumatic systems has proven to be more effective in several large industrial companies, such as Automated Production Equipment, Sorting Systems, Emergency Breaks, etc. Thus, pneumatic systems are highly recommended for industrial and manufacturing applications in the UHMW thermoforming process. Thus, the thermoforming process in pneumatic systems is very much needed to create various products that can support consumer needs.*

**Keywords:** *pneumatic cylinder; thermoforming; uhmw*

### 1. Pendahuluan

Dahulu manusia menggunakan udara bertekanan untuk berbagai keperluan yang terbatas seperti menambah angin ban mobil dll, sebenarnya penggunaan udara bertekanan masih dapat di kembangkan untuk berbagai keperluan seperti proses produksi misalnya gerakan mekanik yang selama ini dilakukan oleh tenaga manusia. Gerakan mekanik juga dapat di lakukan oleh komponen pneumatik seperti silinder pneumatik, motor pneumatik, robot pneumatik dll. Perpaduan gerakan mekanik oleh aktuatur pneumatik dapat menjadi gerakan mekanik untuk keperluan proses produksi yang terus-

menerus dan fleksibel [1].

Sifat UHMW yang merupakan jenis material polimer yang memiliki sifat ketahanan yang sangat kuat terhadap abrasi, permukaan licin dan sifat fisik kuat menjadikannya sangat banyak digunakan dalam dunia industri ataupun manufaktur lainnya, sehingga Material tersebut sangat mudah dibentuk [2].

Termoplastik merupakan jenis plastik yang dapat melunak apabila dipanaskan serta dapat mengeras kembali jika didinginkan. Proses pemanasan dapat membuat termoplastik mengalami pembentukan, sehingga plastik jenis ini dapat didaur ulang. Termoplastik memiliki beberapa jenis diantaranya: polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), polycarbonate (PC), polystyrene (PS), polymethyl methacrylate (PMMA), dan lain-lain. Seiring berkembangnya teknologi, plastik jenis termoplastik dapat diaplikasikan pada banyak bidang seperti: kemasan, konstruksi bangunan, produk konsumen, furniture, perlengkapan transportasi dan lain-lainnya. Masyarakat dan industri mulai beralih menggunakan plastik sebagai bahan baku, karena plastik memiliki sifat yang mudah dibentuk, ringan, kuat dan tahan korosi. Selain itu, plastik juga memiliki daya hantar listrik dan panas yang rendah (isolator), serta mampu meredam getaran maupun kebisingan dan relatif lebih ekonomis [3].

Pneumatik dalam dunia industri merupakan ilmu pengetahuan dari semua proses mekanik yang dimana udara memindahkan suatu gaya atau gerakan. Semua sistem yang menggunakan tenaga yang di simpan dalam bentuk udara yang di dimanfaatkan untuk menghasilkan suatu kerja di sebut sistem pneumatik. Jadi pneumatik meliputi semua komponen mesin atau peralatan. Udara bertekanan dalam peranannya sebagai unsur penggerak lebih banyak dilaksanakan dalam mesin-mesin perkakas dan mesin produksi [4].

Tujuan dari pelaksanaan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui nilai dari tekanan udara pada sistem silinder pneumatik yang akan melakukan pada saat proses mesin bekerja, serta mendesain mesin Forming serta jenis cetakan (Dies) pada alat thermoforming. Sehingga, mesin Forming dapat di-aplikasikan untuk membuat hasil cetakan pada plat Material UHMW, seperti contoh produk, yaitu IPMT (*Insulator Protector Mounting Tool*) [5].

*Thermoforming* adalah suatu proses di mana lembaran thermoplastic datar dipanaskan dan dibentuk menjadi bentuk yang dibutuhkan. Proses ini banyak digunakan dalam pengemasan produk konsumen dan untuk membuat barang-barang besar seperti bak mandi, jendela atap berkontur, dan pelapis pintu internal. Pembentukan termal terdiri dari dua langkah utama: pemanasan, pembentukan. Pemanasan biasanya dilakukan dengan pemanas listrik radiasi, yang terletak di satu atau kedua sisi lembaran plastik awal pada jarak sekitar 125 mm (5 in.). Durasi siklus pemanasan yang diperlukan untuk melunakkan lembaran secara memadai bergantung pada polimer, ketebalannya, dan warnanya [6].

Proses *thermoforming* bekerja dengan memanaskan lembaran dengan bantuan elemen pemanas untuk dapat mencapai suhu tertentu disesuaikan dengan sifat Materialnya. Setelah mencapai suhu lembaran Plat Material yang diinginkan, maka dilanjutkan dengan tahap pembentukan dengan cara Vacuum Forming (penghisapan), Pressure Forming (penekanan), atau Mechanical Forming (sistem pneumatik) ke mold (cetakan) sesuai dengan produk yang ingin dibutuhkan di industri maupun manufaktur [7].

Radiasi terutama digunakan untuk memanaskan lembaran hingga suhu yang diinginkan. Konduksi digunakan untuk memanaskan lembaran serta dalam proses pendinginan. Konveksi digunakan terutama untuk mendinginkan bagian tersebut sehingga dapat dikeluarkan dari cetakan dengan cepat, namun sistem pemanas pada lembaran dapat digunakan saat memanaskan material yang sangat tebal untuk mengurangi permukaan yang gosong [8].

Plastik merupakan isolator termal alami. Sangat sulit untuk memindahkan panas ke bagian tengah lembaran plastik tebal. Konduksi kemudian harus memindahkan panas ke bagian inti lembaran. Konduktivitas termal tidak terlalu penting saat membentuk bahan tipis dibandingkan bahan tebal yang dapat hangus di permukaan sebelum bagian inti mencapai suhu pembentukan. Akibatnya, pembentukan termal memiliki batasan alami pada ketebalan lembaran [9].

Berdasarkan sifat thermalnya, plastic atau polimer dapat dibagi menjadi polimer thermoplastic dan polimer thermoset. Thermoplastic adalah jenis plastik yang menjadi lunak atau lentur ketika dipanaskan dan mengeras ketika didinginkan, dan proses ini dapat dilakukan berulang kali. Pada suhu tinggi, gaya ikatan sekunder pada polimer melemah dan pergerakan molekul meningkat, sehingga thermoplastic cenderung lunak [10].

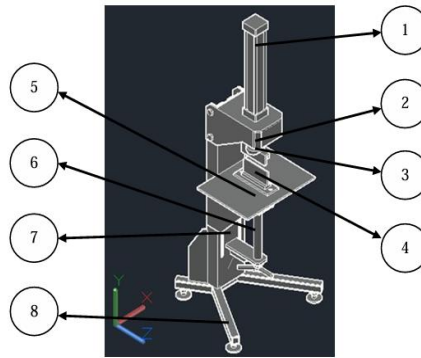
## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### 2.1. Desain dan Spesifikasi Alat *Thermoforming*

Dimensi konstruksi utama mengacu pada kerangka yang memiliki panjang 678 mm, lebar 552 mm, dan tinggi 1139 mm (tinggi tidak terhitung dengan silinder pneumatik). Mesin konstruksi pada alat thermoforming ditentukan berdasarkan kriteria sumbu gerak dalam proses pembentukan. Pembentukan geometri memerlukan tiga sumbu utama, yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z.

#### 2.1.1 Lapisan Tahan Panas / *Refractory Lining*

Dinding Refraktori/*Refractory Lining* merupakan lapisan material tahan panas yang melapisi bagian dalam tungku. Tujuan utama dari *refractory lining* adalah melindungi struktur tungku dari panas tinggi, korosi, dan abrasi yang terjadi selama proses peleburan. Ini adalah komponen penting yang memungkinkan tungku beroperasi pada suhu sangat tinggi secara berkelanjutan dan efisien.



**Gambar 1.** Spesifikasi Alat *Thermoforming*

**Tabel 1.** Keterangan gambar alat *thermoforming*

No.	Keterangan
1.	Silinder Pneumatik
2.	Kepala Kerangka
3.	Positive Mold
4.	Negative Mold
5.	Penampang Benda Kerja
6.	Batangan Ulir Penopang Mold (Cetakan)
7.	Kerangka Alat Thermoforming
8.	Kaki Kerangka

### 2.1.2 Sistem Kendali Alat Mesin *Thermoforming*

Sistem kendali pada alat mesin *thermoforming* memiliki sistem kendala secara manual, yaitu dengan menekan tombol sakelar switch on/off pada panel control box, air compressor sebagai aliran udara, dan silinder pneumatik sebagai alat penggerak utama dalam sistem forming (proses penekanan). Proses pembuatan pada mesin forming dengan sistem aktuator pneumatik menggunakan bahan dasar besi (Fe) sebagai kerangka dan penopang alat, modifikasi alat mesin press pada sistem pneumatik, proses perakitan, proses finishing, serta komponen pada mesin forming yang sudah ditetapkan[11].

### 2.2. *Ultra High Molecular Weight (UHMW)*

*Ultra High Molecular Weight (UHMW)* merupakan *thermoplastic* polietilen, dengan rantai karbon yang sangat panjang dan berat molekul antara 6 hingga 10 juta sma atau kisaran  $4 \times 10^6$  g/mol. Polietilen dengan berat molekul sangat tinggi adalah plastik yang sangat kuat dengan ketahanan abrasi dan aus yang tinggi. Fleksibilitas polietilen menjadikannya plastik populer untuk aplikasi industri yang tak terhitung jumlahnya yang memerlukan daya tahan, gesekan rendah, dan ketahanan terhadap bahan kimia. PE 1000 adalah polietilen dengan berat molekul sangat tinggi (UHMW) murni dan tidak dicampur dengan berat molekul 4,4–9,2 juta g/mol.

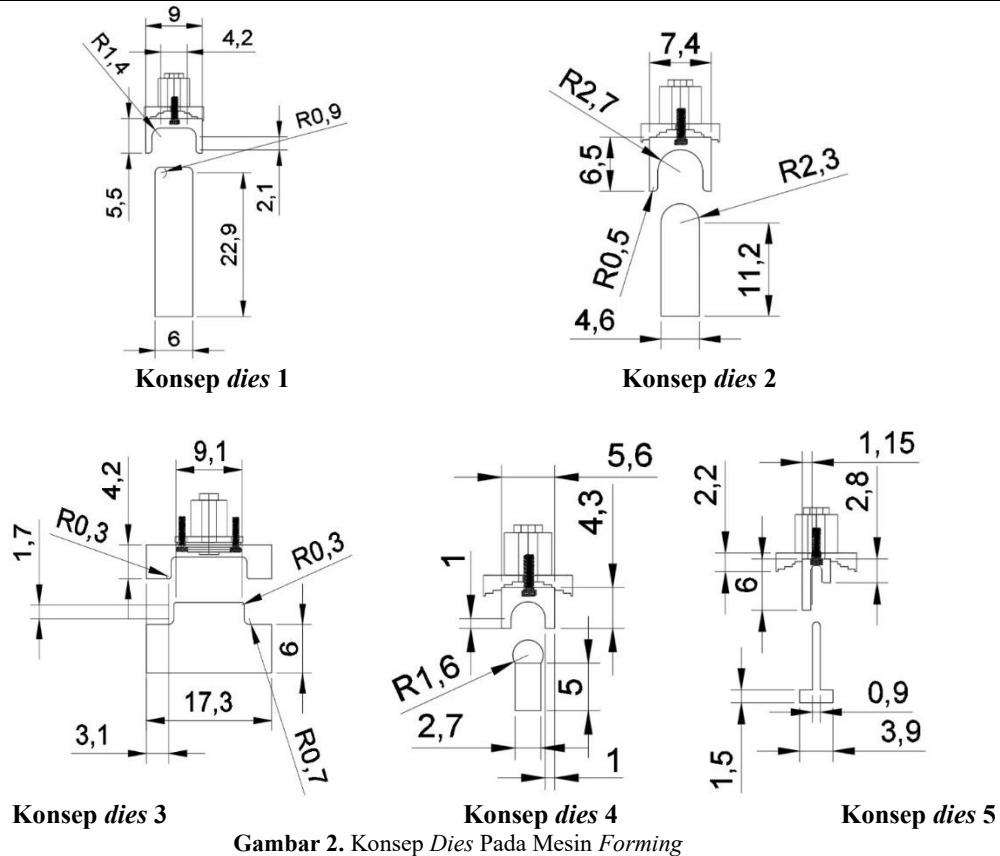
Dari plastik polietilen, plastik ini mempunyai koefisien gesek paling rendah, kekuatan benturan, dan ketahanan aus paling besar. Bahan ini sangat cocok untuk aplikasi di industri yang memerlukan ketahanan aus yang baik, Fleksibilitas yang tinggi, dan gesekan permukaan yang rendah. UHMW memiliki massa molekul yang tinggi, rantai yang lurus panjang, sehingga menciptakan material yang kokoh serta kekuatan yang tinggi [12].

### 2.3. Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode matriks dan penelitian langsung ke lapangan serta melakukan keputusan dan melakukan analisis efisiensi material *Ultra Hight Molecular Weight* pada *thermoforming*. Sistem pengambilan data berdasarkan fakta yang terjadi di lapangan, mulai dari mengukur benda kerja, menganalisis, hingga melakukan desain pada mesin *thermoforming*. Sehingga, konsep desain pada mesin *forming* hingga *dies* terjadi saat penelitian berlangsung.

### 2.4. Konsep Desain

Dalam penelitian ini, tahap konsep konsep desain dilakukan dengan membuat variabel desain pada *software AutoCAD*. Berikut adalah konsep desain *dies* yang digunakan pada mesin *forming*, yaitu sebagai berikut:



Gambar 2. Konsep Dies Pada Mesin Forming

### 3. Hasil Perhitungan Serta Pembahasan Sistem Pneumatik

#### 3.1. Hasil Perhitungan Komponen Pada Silinder Pneumatik dan Dies Pada Mesin Forming

Berdasarkan konsep desain pada Gambar 2 di atas, maka dapat dilakukan perhitungan, yaitu sebagai berikut:

##### 3.1.1. Perhitungan Tegangan Geser dan Gaya Pada Silinder Pneumatik

Diketahui Persamaan data sebagai berikut:

P = Tekanan kerja, Untuk Silinder Pneumatik rata-rata menggunakan Tekanan kerja sebesar 8 bar, jika dikonversi ke  $N/m^2$  menjadi =  $800.000 N/m^2$ .

A = Luas permukaan pada Batang piston ( $D = 80 \text{ mm}$ ) =  $0,08 \text{ m}$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} (3,14)(0,08)^2 \\ &= 0,005024 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka, Nilai Tegangan Geser dan Gaya yang diperoleh menjadi:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P}{A} \\ \sigma &= \frac{800.000 \text{ N/m}^2}{0,005024 \text{ m}^2} \\ \sigma &= \frac{800.000 \text{ N/m}^2}{5024 \text{ mm}^2} \\ \sigma &= 159,235 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Diketahui :  $\rho = 7,874 \text{ gr/cm}^3 = 7874 \text{ kg/m}^3$

$$V = 0,002456736 \text{ m}^3$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 7874 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,002456736 \text{ m}^3$$

$$m = 19,34433926 \text{ kg.}$$

$$m = 1934433,926 (10^{-5}) \text{ kg.}$$

Sehingga, nilai Gaya Pembentukan pada piston, yaitu:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 1934433,926 (10^{-5}) \text{ kg} \cdot (9,8) \text{ m/s}^2$$

$$F = 18957452,47 (10^{-5}) \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$F = 18957452,47 (10^{-5}) \text{ N}$$

### 3.1.2. Perhitungan Tegangan Geser dan Gaya Pada Material Terbesar

Tegangan geser Pada plat Material *Cover Big* IPMT atau Rongga besar (Tegangan Geser terbesar), adalah sebagai berikut:

$$\rho = 0,93 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 930 \text{ kg/m}^3$$

$$V = P.L.T$$

$$= 0,452 \cdot (0,173) \cdot (0,005) \text{ m}^3$$

$$= 39,098 (10^{-5}) \text{ m}^3$$

$$A = P.L$$

$$= 0,452 \cdot (0,173) \text{ m}^2$$

$$= 0,078196 \text{ m}^2$$

$$m = \rho.V$$

$$= 930 \text{ kg/m}^3 \cdot 39,098 (10^{-5}) \text{ m}^3$$

$$= 36361,14 (10^{-5}) \text{ kg}$$

Maka, nilai Tegangan Geser ( $\rho$ ) Pada plat Material *Cover Big* IPMT, yaitu:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{800.000 \text{ N/m}^2}{78.196 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 10,230 \text{ MPa}$$

Gaya pembentukan Terbesar Pada Material adalah *Cover Big* IPMT, didapat dari penurunan Rumus sebagai berikut:

Diketahui :  $\rho = 0,93 \text{ gr/cm}^3$

$$= 930 \text{ kg/m}^3$$

$$A = P.L$$

$$= 0,452 \cdot (0,173) \text{ m}^2$$

$$= 0,078196 \text{ m}^2$$

$$V = P.L.T$$

$$= 0,452 \cdot (0,173) \cdot (0,005) \text{ m}^3$$

$$= 39,098 (10^{-5}) \text{ m}^3$$

Dicari : m dan F.

Sehingga,  $m = \rho.V$

$$= 930 \text{ kg/m}^3 \cdot 39,098 (10^{-5}) \text{ m}^3$$

$$= 36361,14 (10^{-5}) \text{ kg}$$

$$F = m.g$$

$$= 36361,14 (10^{-5}) \text{ kg} \cdot (9,8) \text{ m/s}^2$$

$$= 356339,172 (10^{-5}) \text{ kg m/s}^2$$

$$= 256339,172 (10^{-5}) \text{ N}$$

### 1.1.1. Ukuran Tangki Udara

Ukuran dan Kapasitas dari Tangki udara dapat dilihat dari spesifikasi yang tertulis pada *Air Compressor*. Hal tersebut ditujukan untuk mengetahui informasi yang ada di sistem *Air Compressor*.



Gambar 3. Spesifikasi *Air Compressor*

Sehingga, Hasil Perhitungan adalah sebagai berikut:

Diketahui:

Kapasitas Kompresor = 265 liter/min

Kerugian Tekanan = 0,1 bar

Volume Tabung Kompresor = 0,09 m³

Tekanan Ijin Kompresor = 9,3 bar

Sehingga, nilai  $V_B$  menjadi:

$$V_B = V \times \left( \frac{P_{Ijin} + P_{atm}}{P_{atm}} \right)$$



$$V_B = 0,09m^3 \times \left( \frac{9,3 \text{ bar} + 1,01325 \text{ bar}}{1,01325 \text{ bar}} \right)$$

$$V_B = 0,09m^3 \times 10,17838638$$

$$V_B = 0,916 \text{ m}^3$$

Luas penampang piston  $A_1 = 58,058 \text{ cm}^2$   
 Luas penampang piston  $A_2 = 7,065 \text{ cm}^2$   
 Panjang langkah piston = 482 mm  
 Kontak/menit diperoleh = 1 kali  
 Tekanan Pengukuran = 9,5 kg.f/cm<sup>2</sup> x 0,981 bar  
 = 9,3 bar

Tekanan udara lingkungan = 1 bar  
 Note: (1 liter = 1 dm<sup>3</sup>).  
 Sehingga, nilai  $Q_{V1}$  dan  $Q_{V2}$  menjadi:

$$Q_{V1} = 2 \times A \times S \times n \times \frac{(P_e \times P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{V1} = 2 \times 58,058 \text{ cm}^2 \times 48,2 \text{ cm} \times 1 \times \frac{9,3 \text{ bar} \times 1 \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{V1} = 52050,158 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{V1} = 52,050 \text{ liter/min}$$

$$Q_{V2} = 2 \times A \times S \times n \times \frac{(P_e \times P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{V2} = 2 \times 7,065 \text{ cm}^2 \times 48,2 \text{ cm} \times 1 \times \frac{9,3 \text{ bar} \times 1 \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$Q_{V2} = 6333,913 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_{V2} = 6,333 \text{ liter/min}$$

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan judul “Desain Mesin Forming *Ultra High Molecular Weight*”, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah menentukan prosedur kerja proses *forming* untuk menentukan siklus kerja mesin, seperti pada proses awal menentukan jenis dan posisi *dies* hingga proses pelepasan material *UHMW* yang sudah dicetak.
2. Dari Telah menentukan spesifikasi mesin yang tepat untuk mencetak material *UHMW* sesuai yang diinginkan.
3. Telah mendesain sistem mekanisme, sistem penggerak, dan sistem pengoperasian pada mesin *forming*.
4. Telah membuat dokumen gambar teknik mesin *forming* material *UHMW*.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Afrimianto, H. (2013). Perancangan Dan Inovasi Pembuatan Loker Dengan Metode PAHL dan BEITZ Secara Ergonomi. Skripsi, Jurusan Teknik Industri. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- [2] Amalia, R. (2016). Pengaruh Penerapan *E-Filling* Terhadap Tingkat Sistem Pneumatik Sebagai Variabel Pembentukan. Jurnal Ilmiah **15**, hal. 65-77.
- [3] Chao-Chieh Lan. (2010). Modeling and Design of Air Vane Motors for Minimal Torque Ripples. *Journal of Mechanical Design*. National Cheng Kung University, Republic of China.
- [4] Dvoak, L. (2016). *Calculation of Parameters and Mathematical Model of Rotari Air Motor*. EPJ Web of Conferences 143. Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Departement of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, Czech Republic.
- [5] Fahmi, M., Wahyudi, dan B. Riyanta. (2017). Perencanaan dan Pembuatan Alat Pelipat Baju dengan Sistem Elektro Pneumatik dan PLC untuk Industri dan Manufaktur Konveksi. Jurnal Material dan Proses Manufaktur **1(2)**, hal. 46-55.
- [6] Hakim, L. (2009). Analisa Sistem Pneumatik untuk Penggerak Alat Panen Kelapa Sawit. Jurnal Aptek **1(1)**, hal. 23-34.
- [7] Krist, Thomas, dan D. Ginting. (1993). Dasar Pneumati: Prinsip Dasar Perhitungan Komponen Pneumatik, Jakarta: Erlangga, hal. 10-210.
- [8] Naveenkumar, C. (2018). Design, Fabrication, and Simulation of Compressed Air Hybrid Vehicle. International Research. *Journal of Engineering and Energy (IRJET)* **5(2)**, HAL. 182-188.
- [9] Nugraha, S. N. (2011). Sistem Pemindahan Tenaga Pada Sepeda Penggerak Motor, Yogyakarta: PT. Skripna Media Creative.
- [10] Said, H. (2012). Aplikasi PLC dan Sistem Pneumatik pada Manufaktur Industri. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- [11] Setyono, B. Dkk. (2019). Desain Dan Analisis Performansi Sistem Penggerak Purwarupa Kendaraan Hybrid Bertenaga Udara dan Listrik “Bed 18” Menggunakan “Seoth Yoke Mechanism”, *IPTEK Journal*, **23(1)**, hal 301.
- [12] Ruqing Sumbodo, W., Setiatno, R., & Poedjiono, S. (2017). Pneumatik dan Hidrolik, Teknik Industri **2(2)**, hal. 98-136.