

Perancangan Mesin Injeksi Plastik Portabel

Nazaruddin Noor¹, Budi Triyono²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559

E-mail : ¹nazaruddin.noor.tpkm16@polban.ac.id ²budi.triyono@polban.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan komponen plastik, khususnya yang diproduksi dengan proses injeksi, sudah menjadi bagian kehidupan sehari-hari dikarenakan memiliki banyak keunggulan yaitu ringan, praktis, kuat, murah dan tahan lama. Mesin injeksi plastik di pasaran umumnya berukuran besar sehingga kurang efektif untuk pembuatan produk yang berukuran kecil. Pada penelitian ini dibuat rancangan mesin injeksi plastik yang berukuran kecil, hemat daya, mudah dibawa kemana-mana, dan ekonomis yang dapat digunakan untuk memproduksi produk plastik berukuran kecil. Proses perancangan dilakukan menggunakan metode Pahl and Beitz. Untuk sistem *feeder* dan injeksinya dipilih mekanisme *screw* karena tidak membutuhkan *powerpack* sehingga lebih hemat tempat dan daya, begitu juga dengan sistem *clamping*-nya. Rancangan mesin injeksi plastik yang dihasilkan berdimensi 645x150x347 mm, dengan berat total sekitar 35 kg, dan membutuhkan daya listrik 533 watt yang dapat memproduksi produk dengan massa hingga 3 gram dengan kapasitas produksi 240 produk per jam.

Kata Kunci

Plastik, injeksi, *feeder*, *screw*, produk

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Asosiasi Olefin, Aromatik, dan Plastik (INAPLAS) tahun 2017, total konsumsi plastik Indonesia secara total adalah 5,76 juta ton per tahun dengan rata-rata konsumsi per kapita sebesar 19,8 kg/kapita [1]. Hal tersebut karena plastik memiliki banyak keunggulan yaitu ringan, praktis, kuat, tahan lama, ada yang fleksibel dan ada yang tidak tergantung dari jenis plastik dan penggunaannya [2].

Produk plastik biasanya dibuat menggunakan mesin injeksi *molding* (Gambar 1). Mesin ini memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat memproduksi massal dengan berbagai bentuk cetakan dan biaya produksi persatuan produk relatif murah [3]. Cara kerja mesin ini adalah dengan memasukan biji plastik ke dalam sebuah barel yang kemudian dipanaskan hingga meleleh. Plastik yang telah meleleh tersebut diinjeksi ke dalam cetakan yang kemudian didinginkan. Setelah itu, dilepaskan dari cetakan dan terbentuk suatu produk plastik [4].

Ada beberapa penelitian yang sudah dilakukan pada pembuatan mesin injeksi plastik ini yaitu tugas akhir dari mahasiswa Universitas Muria Kudus dengan judul Rancang Bangun Plastic Injection Moulding Pada Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Gagang Pisau. Alat tersebut berukuran 300x250 mm dengan tinggi sekitar 480 mm. Kapasitas daya motor yang digunakan adalah 600 watt [5]. Adapun contoh lain yaitu dari

mahasiswa Unika Atma Jaya dengan judul Rancang Bangun Prototipe Mesin Cetak Injeksi Dengan Menggunakan Elektro-Pneumatik. Alat ini berukuran 850x150x250 mm, menggunakan sistem elektro-pneumatik dan PLC sebagai controller [6].



Gambar.1 Mesin Injeksi Molding [7]

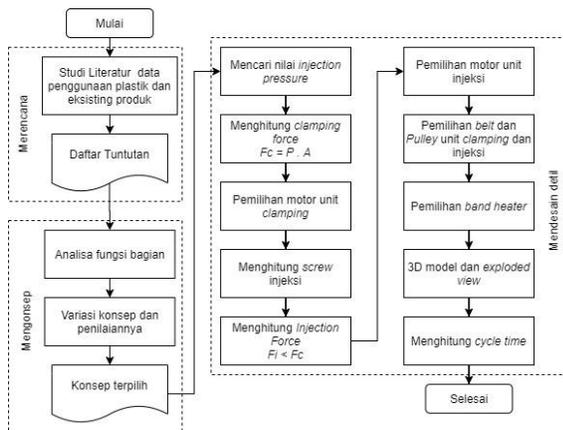
Berdasarkan penelitian dan produk yang sudah ada, mesin ini belum ada yang berukuran kecil, mudah dibawa kemana-mana dan menggunakan daya listrik yang kecil. Oleh karena itu, diperlukan mesin injeksi plastik yang portabel yaitu berukuran kecil, dapat dibawa kemana-mana, dan hemat daya.

2. METODOLOGI

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancangan Mesin Injeksi Plastik Portabel yaitu berukuran kecil

dan mudah dibawa kemana-mana yang mana dapat dibawa tanpa menggunakan alat bantu.

Ruang lingkup pada penelitian ini yaitu dimulai dari perencanaan awal dimana melakukan survey dan pengumpulan data terlebih dahulu yang kemudian dibuat konsep rancangan, dan perancangan detail. Batasan masalah pada penelitian ini adalah alat yang dirancang berukuran kecil dengan panjang maksimal 500 mm dimana dalam 1x mencetak menghasilkan cetakan dengan berat maksimal 3 gram. Perancangan yang dilakukan hanya pada unit injeksi dan unit *clamping*. Jenis resin yang digunakan sebagai bahan adalah *polypropylene* (PP). tahapan metode yang dilakukan dapat dilihat pada *flowchart* Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart metodologi

Setelah dilakukan tahapan-tahapan tersebut maka didapat daftar tuntutan yaitu dimensi alat 700x200x400 mm, pemanasan maksimum 300 °C, berat tidak melebihi 25 kg, dan daya keseluruhan alat tidak melebihi 600 W.

Tahap awal yang dilakukan adalah mencari nilai tekanan injeksi (*injection pressure*) dan gaya penekaman (*clamping force*).

2.1 Tekanan injeksi dan *clamping force*

Nilai tekanan injeksi umumnya adalah 55~69 MPa [8]. Maka tekanan injeksi yang digunakan adalah tekanan injeksi maksimum yaitu 69 MPa.

Clamping force didapat menggunakan rumus 1 [9].

$$F_c = P_i \cdot A_{proj} \quad (1)$$

F_c adalah *clamping force* (N), P_i adalah tekanan injeksi (MPa), dan A adalah luas penampang (m²).

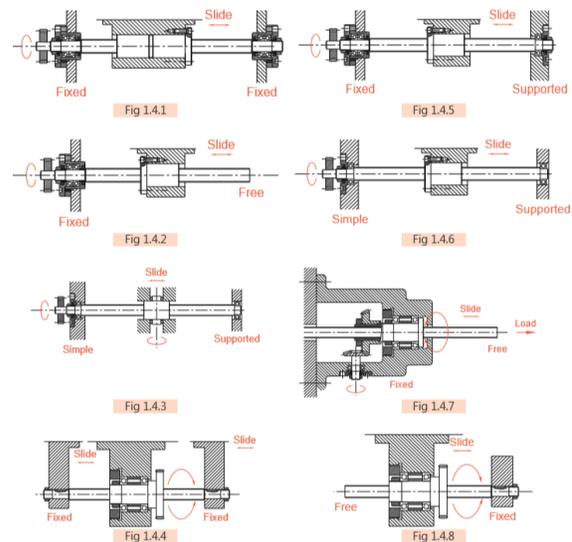
Gaya injeksi atau *injection force* juga menggunakan rumus 1 dan harus lebih kecil dari *clamping force* agar terhindar dari kebocoran dan kegagalan bentuk produk.

$$F_{injeksi} < F_{clamping}$$

2.2 Pemilihan *ball screw*

Pada penekaman menggunakan plat atau bisa disebut juga *mold base*. Pada fungsi ini telah dipilih menggunakan *ball screw*. Tahapan pemilihannya yaitu sebagai berikut [10]:

1. *Mounting method* (Gambar 3)
2. *Permissible buckling load* yang ditinjau berdasarkan *mounting distance* dan jenis beban yang dialami.
3. Pemilihan *grade* yang dipilih berdasarkan fungsi *ball screw*.
4. Pemilihan model *ball screw* yang ditinjau berdasarkan *clamping force* atau *static load* yang dialami.



Gambar 3. Mounting method ball screw [10]

Pemilihan motor untuk proses penekaman dimana tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Torsi yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan rumus 2 [10].

$$T_c = \frac{P \cdot l}{2\pi\eta_1} \quad (2)$$

T adalah torsi *clamping* (Nm), P adalah beban yang dialami (N), l adalah lead atau jarak bagi (mm), dan η_1 adalah efisiensi saat konversi gerak linear ke gerak rotasi.

2. Daya yang dibutuhkan menggunakan rumus 3 dimana rpm yang ditentukan ditinjau berdasarkan grafik pada Gambar 2 [11].

$$P = T \cdot \omega$$

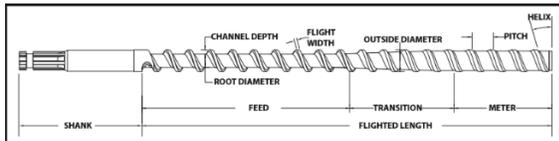
$$P = T \cdot \frac{2\pi \cdot N}{60} \quad (3)$$

P adalah daya (kW), T adalah torsi (Nm), ω adalah kecepatan sudut, dan N adalah putaran per menit (rpm).

2.3 Perhitungan screw injeksi

Perhitungan *screw* pada unit injeksi (Gambar 4) tahapannya adalah menentukan:

1. Rasio L/D yaitu perbandingan *flight length* per diameter luarnya
2. Profil *screw*
3. *Channel Depths* ditentukan berdasarkan jenis resin dan rasio kompresi.
4. Rasio kompresi yaitu perbandingan volume *feed zone* dan *meter zone*
5. *Helix angle* yaitu besar sudut *screw* terhadap sumbu porosnya.



Gambar 4 Screw Injeksi [12]

Pemilihan motor untuk unit injeksi berdasarkan gaya injeksi dimana tahapannya sama dengan pemilihan motor untuk unit *clamping* yaitu menghitung torsi yang dibutuhkan menggunakan rumus 2 dan daya yang dibutuhkan menggunakan rumus 3.

2.4 Pemilihan belt dan pulley

Pemilihan *belt* dan *pulley* [11] yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan daya rencana dan tipe *belt*.
2. Menentukan jumlah gigi *pulley* kecil.
3. Menghitung rasio rencana berdasarkan torsi *clamping* dan torsi motor.
4. Menentukan jumlah gigi *pulley* besar menggunakan rumus 4 [11].

$$z_2 = z_1 \cdot i \quad (4)$$

z_1 adalah jumlah gigi puli kecil, z_2 adalah jumlah gigi puli besar.

5. Menghitung rasio berdasarkan *pulley* yang sudah dipilih.
6. Menghitung panjang *belt* menggunakan rumus 5 [11].

$$Lp = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{c}{p} + \frac{[(z_2 - z_1)/6,28]^2}{c/p} \quad (5)$$

Lp adalah panjang belt (gigi), c adalah jarak antar sumbu poros (mm), dan *pitch* adalah jarak bagi.

2.5 Pemilihan band heater

Pemanas yang dipilih adalah *band heater* jenis mika karena lebih murah dan dapat dibuat *custom*. pemilihannya berdasarkan standar dari *handbook* Sinus Jevi *band heater*.

2.6 Cycle Time

Cycle time didapat dari lama waktu *mold* tutup, *cavity filling time*, *hold and pack*, *mold* buka hingga eaksi. rumus untuk menghitung *cavity filling time* [10].

$$t = \frac{A_{\text{cetakan}}}{Ca} \quad (6)$$

t adalah *cycle time* (s), A_{cetakan} adalah luas penampang cetakan (mm^2), dan Ca adalah debit alir lelehan plastik (mm^3/s).

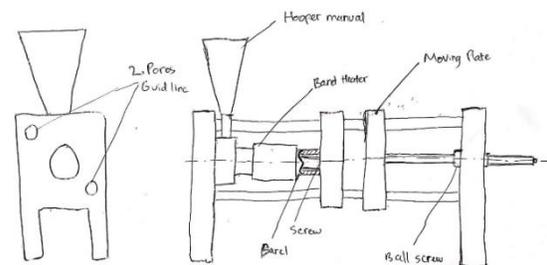
3. PROSES DAN HASIL

Berikut merupakan hasil dan pembahasan yang didapat dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan.

3.1 Daftar Tuntutan

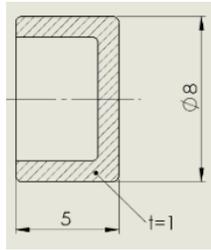
Berdasarkan latar belakang, produk plastik sangat banyak dan biasanya dibuat menggunakan mesin injeksi plastik. Namun untuk produk yang kecil, di Indonesia masih jarang ditemui mesin injeksi plastik yang berukuran kecil dan dapat dibawa kemana-mana. Maka dari itu, didapat daftar tuntutan yaitu dimensi total mesin injeksi plastik portabel yang akan dibuat tidak melebihi 700x200x400 mm; dalam 1x proses mencetak, massa cetakan yang dihasilkan maksimal 3 gram; daya keseluruhan alat tidak melebihi 600 W; pemanasan maksimal hingga 300°C; dan berat total alat tidak melebihi 25 kg.

Pada Tahap mengonsep dilakukan identifikasi fungsi bagian dan dilakukan penilaian. Didapat konsep terpilih yaitu seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Konsep terpilih

Clamping force dihitung menggunakan rumus 1. Luas penampang cetakan diasumsikan seperti pada Gambar 7.



Gambar 6. asumsi cetakan

$$F_{clamping}$$

$$= P_i \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 \right)$$

$$F_{clamping}$$

$$= 69 \cdot \left(\frac{\pi 8^2}{4} \cdot 2 \right)$$

$$F_{clamping}$$

$$= 6936.64 \text{ N}$$

3.2 Pemilihan ball screw sebagai penggerak mold base

Dilakukan pemilihan dengan tahapan yang telah disebutkan pada metodologi yaitu:

1. Jenis beban yang dialami adalah *fixed/simple* seperti pada Gambar 3.
2. *Permissible buckling load* dimana *axial load* yang didapat adalah < 8 atau < 20 ton.
3. Tekanan injeksi yang dipilih adalah tekanan maksimal yaitu 69 MPa.
4. Model yang dipilih adalah *nut SFU1605-3 shaft SCR01605 grade C5* berdasarkan beban statik maksimum yang ditinjau dari beban *clamping force* yaitu 6.9 kN.

Setelah pemilihan *ball screw*, selanjutnya adalah pemilihan motor dimana tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Torsi yang dibutuhkan adalah 5,8 Nm seperti pada rumus 2.

$$T_c = \frac{6936,64 \cdot 5}{2\pi \cdot 0,95}$$

$$T_c = 5810,53 \text{ Nmm} \sim 5,8 \text{ Nm}$$

2. Daya yang dibutuhkan dapat ditinjau dari grafik *mounting distance vs rpm* pada *handbook ball screw TBI MOTION* dan didapat RPM yang dipilih adalah 50 lalu menggunakan rumus 3.

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = T \cdot \frac{2\pi \cdot N}{60}$$

$$P = 5,8 \cdot \frac{2\pi \cdot 50}{60}$$

$$P = 30,41 \text{ W}$$

Dari perhitungan diatas dimana daya 30,41 W maka motor *stepper* NEMA 34 dapat memenuhi.

3.3 Perhitungan screw injeksi

Rasio L/D yang biasa digunakan adalah 20:1 dimana L adalah *flighted length* dan D adalah diameter luar seperti yang terlihat pada Gambar 4. Namun, yang dipilih adalah Semakin besar rasio L/D maka:

- Semakin besar *shear heat* yang terjadi pada plastik tanpa degradasi.
- Semakin baik hasil pencampuran dan lelehan resin.
- Semakin banyak plastik yang masuk dan atau yang diproses maka semakin cepat siklus pencetakan untuk cetakan yang lebih besar.

Profil *screw* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *feed zone*, *transition zone*, dan *meter zone* seperti yang terlihat pada Gambar 4. Profil yang dipilih adalah 5-5-5 mm. Panjang tiap bagian *screw* berdampak pada tingkat kualitas leleh plastiknya yaitu:

- Semakin panjang *feed zone* maka semakin banyak resin yang masuk
- Semakin panjang *transition zone* maka semakin kecil *shear heat* dan semakin banyak waktu untuk mengompres dan melelehkan resin.

Channel depth pada *meter zone* tergantung pada resin yang diproses. *Feed zone* dan *transition zone* tergantung pada pemilihan rasio kompresi dan profil *screw*. Kebanyakan dari mesin injeksi *molding* ini menggunakan rasio 2,5:1 sampai 3,0:1 maka yang dipilih adalah 2,5:1 yaitu 1,25:0.5 mm. Semakin besar rasio kompresi maka:

- Semakin baik *shear heat*.
- Semakin baik kualitas leleh resin.
- Semakin baik potensi tegangan untuk beberapa jenis resin.

Helix angle yang digunakan untuk *screw* injeksi umumnya adalah $17,6568^\circ$ dimana besar *pitch* sama dengan diameter nominalnya atau disebut juga *square*

pitch. Semakin kecil *helix angle* maka semakin banyak putaran per diameternya. Ini mengakibatkan:

- Bertambahnya panjang *axial melting*.
- Resin yang dibawa semakin padat, lebih ringan, dan membutuhkan torsi yang lebih kecil.

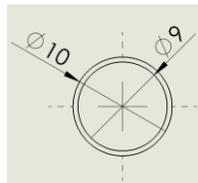
Screw injeksi yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 8 menggunakan software SOLIDWORKS.



Gambar 7. *Screw* injeksi yang dibuat

Selanjutnya pemilihan motor untuk proses injeksi dimana tahapannya adalah sebagai berikut:

Injection force dimana luas proyeksi *screw* seperti pada Gambar 9 dan perhitungan menggunakan rumus.



Gambar 8. proyeksi *screw* injeksi

$$F_{injeksi} = 69 \cdot \left(\frac{\pi 10^2}{4} - \frac{\pi 9^2}{4} \right)$$

$$F_{injeksi}$$

$$= 1029,13 \text{ N}$$

1. Torsi yang dibutuhkan menggunakan rumus 2.

$$T = 1029,13 \cdot \frac{0,318 + 1,15}{1 - 318 \cdot 1,15} \cdot \frac{7,5}{2}$$

$$T = 10730,67 \text{ Nm} \sim 10,7 \text{ Nm}$$

2. Daya yang dibutuhkan. Besar RPM yang ditentukan adalah 20 atau kurang [12]. Perhitungan menggunakan rumus 3.

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = T \cdot \frac{2\pi \cdot N}{60}$$

$$P = 10,7 \cdot \frac{2\pi \cdot 20}{60}$$

$$P = 57,24 \text{ W} \sim 58 \text{ W}$$

3.4 Pemilihan *belt* dan *pulley*

Untuk unit *clamping*, daya rencana dan rpm yang ditentukan adalah 58 W dan 50 rpm. Maka tipe yang dipilih adalah tipe H berdasarkan grafik pada Gambar 5.

Jumlah gigi *pulley* kecil yang ditentukan adalah yang terkecil yaitu 14 gigi berdasarkan Tabel 5 dengan kode 14 H 100. Kemudian dihitung rasio yaitu:

$$i = \frac{T_{clamping}}{T_{motor}}$$

$$i = 5,5$$

Gigi *pulley* besar dihitung menggunakan rumus 4 dan didapat jumlah gigi berdasarkan Tabel 5 adalah 84 gigi dengan kode 84 H 100

$$z_2 = 14 \cdot 5,5$$

$$z_2 = 77,1 \sim 84$$

Panjang *belt* dihitung menggunakan rumus 5.

$$Lp = \frac{14 + 84}{2} + 2 \frac{140}{12,7} + \frac{\left[\frac{84-14}{6,28} \right]^2}{140/12,7}$$

$$Lp = 82,32 \sim 84 \text{ gigi}$$

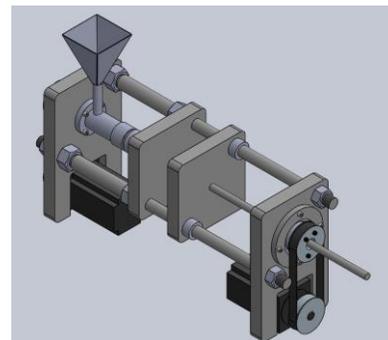
Panjang *belt* yang dipilih berdasarkan perhitungan dan Tabel 4 adalah 420 H 100 G.

3.5 Pemilihan *band heater*

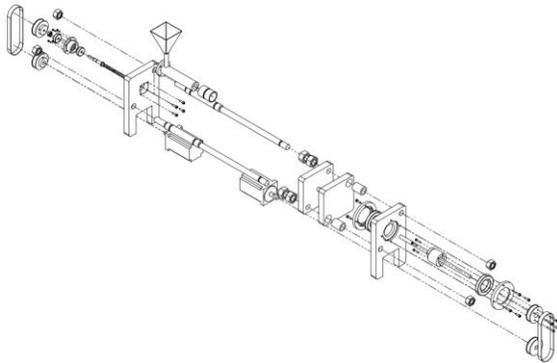
Berdasarkan Tabel 7 didapat diameter dalam *band heater* mendekati diameter luar barel yaitu 1 inci dengan daya 65 Watt. *band heater* yang digunakan adalah 2 buah maka total dayanya adalah 130 Watt.

3.6 3D model

Setelah didapatkan komponen standar, selanjutnya dibuat 3D model dan *exploded view* seperti yang terlihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 9 3D model



Gambar 10 Exploded view

3.7 Cycle time

Biasanya lama waktu *mold* tutup 2 detik, *cooling* 8 detik, *mold* buka dan eaksi 2 detik. Perhitungan *cavity filling time* menggunakan rumus 6.

$$t = \frac{\left(\frac{\pi 8^2}{4} \cdot 5\right) - \left(\frac{\pi 6^2}{4} \cdot 4\right) \cdot 2}{41}$$

$t = 6 \text{ detik}$

Cycle time untuk mesin ini adalah 18 detik sehingga kapasitas produksinya adalah 198 buah/jam.

4. KESIMPULAN

Mesin Injeksi Plastik Portabel ini membutuhkan daya yang kecil. Selain itu juga dapat dibawa kemana-mana karena tidak terlalu berat dan ukuran yang kecil dibandingkan dengan produk yang sudah ada di pasaran. Perancangan mesin injeksi plastik portabel ini memiliki spesifikasi yaitu dimensi total 645x150x347 mm; daya keseluruhan mesin 338 W; pemanasan hingga 340 °C; berat 11 kg; dan kapasitas produksi sebanyak 198 buah/jam.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Soal Sampah Plastik, Begini Solusi Inaplas dan Adupi. RMco.id. [Online] Kamis Agustus 2019. <https://rmco.id/baca-berita/ekonomi->

bisnis/15450/soal-sampah-plastik-begini-solusi-inaplas-dan-adupi.

- [2]. Menggunakan Plastik Untuk Kegiatan Sehari-hari, Apa Anda Tau Akibat Yang Di Timbulkan? MARTINRECORDS. [Online] Mei 2018. <http://www.martinrecords.com/info/menggunakan-plastik-untuk-kegiatan-sehari-hari-apa-anda-tau-akibat-yang-di-timbulkan/>.
- [3]. Top 10 Manfaat Moulding Injeksi Plastik, id.aberyplastics.com. [Online] 25 September 2017. <http://id.aberyplastics.com/news/the-top-10-benefits-of-plastic-injection-moldi-8940753.html>.
- [4]. Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori. [Online] <http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/201/jbtpplban-gdl-mochbennyj-10024-3-bab2--0.pdf>.
- [5]. Rancang Bangun Plastic Injection Moulding. s.l. : Syaifudin, 2017.
- [6]. Rancang Bangun Prototipe Mesin Cetak Injeksi Dengan Menggunakan Elektro-Pneumatik. Jakarta : Anthon De Fretes, 2009.
- [7]. Plastic Injection Molding. [Online]. <https://www.joma-polytec.de/en/services/production/injection-moulding>.
- [8]. Bryce, Douglas M. Plastic Injection Molding : Manufacturing Process Fundamentals. s.l. : Society of Manufacturing Engineers, 1996.
- [9]. Cara Menghitung Clamping Force Mould Injection. Jasa Traning Pembuatan Mold. [Online] Desember 2014. [Dikutip: senin Januari 2020.] <https://www.jasatraining-pembuatanmold.com/2014/12/perhitungan-kebutuhan-clamping-force.html>.
- [10]. Ball screw. Taipei: TBI MOTION Technology Co., Ltd.
- [11]. Sularso, Kiyokatsu Suga. 2004. Design of Machine Elements. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [12]. Barrel & Screw Handbook. 2015. Maize: Reiloy USA.
- [13]. Kapasitas Mesin & Parameter Injeksi. Ilmu Manufaktur. [Online] [Dikutip: Selasa Februari 2020.] <https://ilmumanufaktur.weebly.com/kapasitas-mesin--parameter-injenksi.html>.