

DESAIN ULANG UNIT PEMANAS DAN PENGENDALI KECEPATAN INJEKSI MESIN MOLDING

Andhy Rinanto¹, Heru Sukanto², Wahyu Purwo Raharjo²

¹Mahasiswa – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Injection Molding Machine
Band Heater
Machine Design*

Abstract :

The aim of this thesis is to redesign injection molding machines that still use kerosene stove as a heater and as a pneumatic piston injection unit. This redesign using morphological matrix. Heating and injection unit into the machine deficiency, assessed and compared with components that can meet the needs of the machine with the technical and economic considerations. Components that are standard parts will be purchased from the market, whereas if there is no market then the component will be created by the machining process. Old heating oil stove now be replaced with a type of Electric Heater Band Heater. While the power screw to replace the injection piston, rotated by an electric motor that has a power of 0.5 hp.

PENDAHULUAN

Dewasa ini, terjadi pertumbuhan yang sangat pesat pada penggunaan produk plastik di industri manufaktur karena sangat serbaguna dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Dukungan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat diperlukan khususnya untuk pemanfaatan dan pengolahan polimer, sehingga dapat dihasilkan produk plastik dengan kuantitas yang cukup tinggi dan kualitas yang baik [Low, 2004]. Salah satu teknik yang cukup efektif dan banyak dipergunakan untuk pengolahan bahan termoplastik adalah *injection molding*.

Injection Molding banyak dipilih karena memiliki beberapa keuntungan diantaranya : kapasitas produksi yang tinggi, sisa penggunaan material (*useless material*) sedikit dan tenaga kerja minimal. Sedangkan kekurangannya, biaya investasi dan perawatan alat yang tinggi, serta perancangan produk harus mempertimbangkan untuk pembuatan desain *moldingnya* [Kwong, 1998].

Injection molding adalah metode pembentukan material termoplastik dimana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh *plunger* ke dalam cetakan yang didinginkan oleh air dimana material tersebut akan menjadi dingin dan mengeras sehingga bisa dikeluarkan dari cetakan. Meskipun banyak variasi dari proses dasar ini, 90 % *injection molding* adalah memproses material termoplastik. *Injection molding* mengambil porsi sepertiga dari keseluruhan resin yang dikonsumsi dalam pemrosesan termoplastik. Sekarang ini bisa dipastikan bahwa setiap kantor, kendaraan, rumah, pabrik terdapat barang-barang dari plastik yang dibuat dengan cara *injection molding*, misalnya pesawat telepon, printer, keyboard, mouse, rumah lampu mobil, dashboard, reflektor, roda gigi, helm, televisi, sisir, roda furnitur, telepon seluler, dan masih banyak lagi yang lain yang dapat ditemukan.

Mesin *injection molding* adalah peralatan terdiri dari dua dasar elemen, unit injeksi dan unit klem. *Injection molding* dapat digunakan dengan berbagai resin plastik. Resin dipilih untuk proses ini adalah *polietilen*, *polipropilen*, *ABS*, dan *fluorokarbon*, karena karakteristik bentuk yang rumit dapat dihasilkan dengan mudah [Netsal, 1978]. Keuntungan mesin injeksi kecil adalah proses pencetakan permukaan yang baik dari produk dapat dicapai, material terbuang sedikit dan biaya tenaga kerja relatif rendah [Oyetunji, 2010].

Pekerjaan *redesign* akan melibatkan konsep desain, operasi, desain analisis yang akan melibatkan pemilihan unit pemanas dan pemasangan pengatur panas, pengaturan langkah piston, juga perakitan gambar mesin. Pengembangan mesin *injection molding* kecil untuk mencetak produk plastik industri skala kecil itu lahir dari fakta bahwa kebanyakan mesin injeksi umumnya berukuran besar. Dan terlebih untuk kalangan industri kecil, mesin yang digunakan biasanya hanya menggunakan kompor sebagai unit pemanas dan menggunakan engkol untuk mendorong material plastik ke dalam cetakan. Dengan kondisi yang demikian, maka mesin tidak mampu digunakan untuk pengaturan suhu dan kecepatan injeksi, dimana kedua hal ini sangat berpengaruh pada hasil cetakan.

Mesin *Injection Molding* yang ada sekarang (dari Fakultas Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta) berukuran panjang 1600 mm, lebar 300 mm dan tinggi 500 mm. Terdapat dua piston pneumatik yang berfungsi sebagai unit injeksi dan unit klem. Sedangkan untuk unit pemanas menggunakan kompor minyak. Selama ini, kecepatan injeksi tidak dapat dilihat maupun dibaca dengan pasti. Sedangkan unit pemanas yang menggunakan kompor juga mengalami kendala saat harus mengatur besarnya panas yang diinginkan untuk melelehkan material plastik.

LANDASAN TEORI

Pengembangan mesin *injection molding* kecil untuk membentuk produk plastik kecil dalam industri skala kecil sudah dilakukan oleh Oyotunji (2010). Pekerjaan yang dilakukan meliputi desain, konstruksi dan pengujian mesin *injection molding* kecil yang mampu membentuk produk plastik ukuran kecil dengan menyuntikkan resin cair ke dalam cetakan, mendinginkan cetakan, dimana cetakan akan membeku dan menghasilkan produk yang ingin dikembangkan. Mesin dirancang dan dibuat untuk bekerja sebagai *prototype* dan digunakan untuk memproduksi plastik berukuran kecil. Konsep desain, pengoprasian, dan perakitan bagian komponen dibuat. Gambar kerja dan pemilihan bahan dibuat berdasarkan perhitungan dari diameter injeksi plunger, jumlah gigi yang diperlukan, kecepatan sudut, jumlah revolusi, torsi dan daya yang diperoleh dari motor listrik [Low, 2004].

Dalam mesin *injection molding*, umumnya terdapat 3 bagian utama yaitu : *Injection unit, Mold unit, dan Clamping unit.*

Temperatur

Parameter kunci pada proses *injection molding* adalah temperatur leleh (mencair) dan temperatur di dalam cetakan. Efektivitas biaya dipengaruhi dari waktu yang dihabiskan untuk siklus yang meliputi injeksi, pendinginan, dan pergerakan dari unit klem (Neculai dan Cătălin, 2010). Daftar temperatur proses yang direkomendasikan untuk termoplastik dan elastomer termoplastik ditunjukkan pada tabel 2.1 (halaman 10 dan 11) buku Johannaber, 1997. Data yang ditunjukkan merupakan pengaturan temperatur untuk daerah pemanasan pada *plasticating unit* dari mesin *injection molding*, serta untuk pengaturan temperatur pada *nozzle* dan suhu pendinginan pada cetakan. Besarnya temperatur untuk melelehkan material termoplastik berkisar dari yang terendah sebesar 130 °C sampai yang tertinggi sebesar 400 °C.

Kecepatan injeksi

Kecepatan screw dianggap sebagai parameter mesin yang dianggap penting dan digunakan sebagai variabel input untuk pembangunan sebuah titik operasi. Hal ini adalah kecepatan keliling dari *screw* yang saling berkaitan dengan kualitas lelehan. Kecepatan *screw* dalam mesin *injection molding* biasanya dirancang untuk memproduksi *part* yang tipis pada kapasitas injeksi yang rendah dengan kecepatan antara 0,05 sampai 1,5 m/s. Kecepatan *screw* yang rendah menghasilkan lelehan yang berkualitas.

Tabel 1. Kecepatan injeksi pada material plastik [Johannaber 2007, hal. 78]

Material	High-quality injection molding v_s [m/s]	Standard injection molding v_s [m/s]	Thin-wall injection molding (packaging) v_s [m/s]
Blended plastics, PVC	0.05 to 0.1	0.1 to 0.2	—
ABS, CAB, PC, SAN, PBT, PET, POM, PA, PPS, PEEK, PAI, PSU	0.05 to 0.15	0.2 to 0.4	—
PS, PE, PP	0.1 to 0.3	0.3 to 0.7	0.6 to 1.5

Pemanas elektrik

Besarnya daya heater tergantung dari jenis material yang akan dipanaskan, massa benda yang akan dipanaskan, dan waktu yang ingin ditempuh dalam mencapai suhu tertentu. Untuk menentukan besarnya daya *heater* nantinya, menggunakan rumusan dari produsen heater sebagai berikut :

$$Q = \frac{m \times C_p \times \Delta T}{360 \times t \times \eta} \dots\dots\dots (1)$$

Perpindahan panas konduksi pada silinder

Pada pengoperasian yang konstan, tidak ada perubahan temperatur pada waktu dan titik tertentu. Oleh karena itu perpindahan panas yang masuk ke dalam pipa harus sama dengan perpindahan panas yang keluar. Dengan kata lain, perpindahan panas pada pipa adalah konstan (Cengel, 2002, hal. 165). Perpindahan panas konduksi pada pipa / silinder dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_{cond, cyl} = 2\pi L k \frac{T_1 - T_2}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2)$$

Rumus Tekanan

Dalam penelitian ini menggunakan barrel yang diisi material plastik, kemudian mendorongnya ke dalam cetakan. Cara kerjanya menggunakan prinsip tekanan bidang.

$$P_{ress} = \frac{F}{A} (N/mm^2) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- P_{ress} = Tekanan (N/mm^2)
- F = Gaya (N)
- A = Luasan bidang (mm^2)

Pada mesin *injection molding* menggunakan power screw sebagai pendorong material plastik ke dalam cetakan. Besarnya gaya pada power screw menurut Sclater dan Chinoris, Bab. Screw, hal. 11 ditentukan dengan rumusan sebagai berikut :

$$F_{injeksi} = \frac{F_p \times 2\pi \times r}{p} \text{ (N)} \dots\dots\dots (4)$$

Rumus Daya

Pada saat proses injeksi, ada gaya (F) yang dibutuhkan untuk mendorong material plastik dan ada juga pergerakan (v) dari elemen pendorong. Maka dari kondisi ini dapat diketahui daya (P_{power}) yang dibutuhkan pada saat injeksi. Karena direncanakan untuk mengganti piston dengan motor sebagai unit pendorong, maka daya ini nanti akan dibutuhkan untuk pertimbangan pemilihan motor.

$$P_{power} = F \times v \text{ (Nm/dt) atau Watt} \dots (5)$$

Dimana :

- P_{power} = Daya (Watt)
- v = Kecepatan gerak (m)

Menentukan diameter poros

Seperti yang sudah direncanakan, unit pendorong akan menggunakan motor dan shaft yang dibentuk uliran, maka diperlukan perhitungan besarnya shaft yang dipakai. Melihat kebutuhannya, shaft yang di rancang harus bisa menahan beban puntir. Menurut Sudiby, hal. 11, poros transmisi dihitung hanya berdasarkan momen puntir (M_t) dengan tambahan faktor c yang mengandung angka keamanan terhadap puntir.

Momen puntir yang ditransmisikan :

$$M_t = 9550 \frac{P}{n} \quad (\text{Nm}) \dots\dots\dots (6)$$

Maka rumus untuk diameter poros transmisi pejal :

$$d = c_1 \times \sqrt[3]{M_t} \approx c_2 \times \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (\text{mm}) \dots\dots (7)$$

Dimana :

M_t = Momen puntir (Nm)

P = Tenaga (kW)

N = Angka putaran (rpm)

c_1, c_2 = faktor keamanan yang besarnya tergantung $\bar{\sigma}_t$

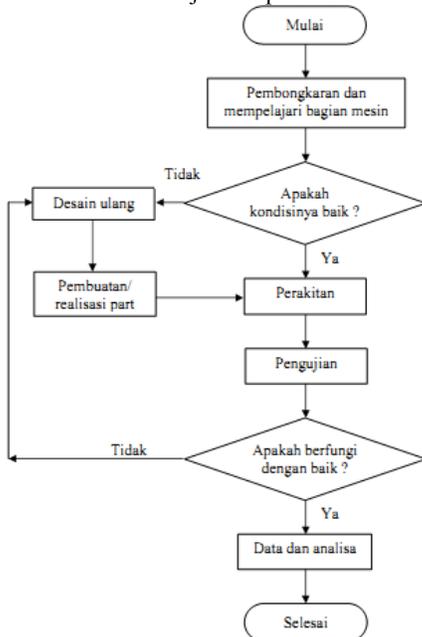
Tabel 2. Faktor c terhadap $\bar{\sigma}_t$

$\bar{\sigma}_t \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	Material	c_1	c_2
15	St 37, St 42	6,9	146
20	St 50, St 60	6,3	133
25	Baja dengan batas patah yang lebih tinggi	5,8	123

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Secara sistematis, diagram alir penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1 :

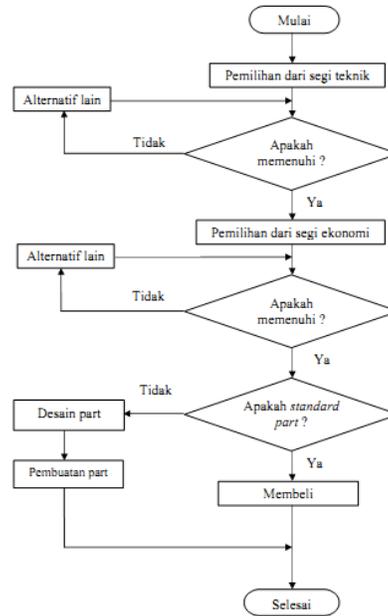


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Secara terinci, diagram alir penelitian dijelaskan sebagai berikut :

Desain ulang

Desain ulang merupakan rangkaian proses tersendiri. Diagram alir proses desain ulang akan ditunjukkan dalam gambar 2. berikut :



Gambar 2. Diagram alir desain ulang

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin injection molding
2. Tacho meter
3. Stop watch
4. Thermocouple dan pembaca suhu portabel
5. Inverter

PERANCANGAN DAN PEMILIHAN PART

Morphologi Matrix

Dalam menentukan part yang digunakan, Metode Morphologi Matrix digunakan untuk menjamin bahwa produk yang akan dirancang benar – benar dapat menjawab permasalahan yang ada dan dapat memenuhi semua tuntutan yang diberikan. Metode morphologi matrix di dalamnya mencakup 4 tahap, yaitu pengelompokan informasi, menyusun tabel morphologi matrix, menganalisa berbagai macam solusi yang muncul, kemudian menentukan salah satu solusi yang dianggap paling baik dan memenuhi kebutuhan.

Pengelompokan informasi dan pemilihan part yang digunakan.

Berbagai macam informasi yang akan dikelompokkan adalah informasi terkait dengan tuntutan mesin injection molding yang di desain ulang dan beberapa model variasi elemen konstruksi yang nantinya akan digunakan. Pemilihan part melibatkan responden yang diminta memberikan

penilaian terhadap beberapa part yang sudah ditentukan.

Tuntutan produk

Dalam merancang sebuah produk, akan lebih mudah apabila ada sebuah batasan yang diberikan. Batasan tersebut bisa berupa tuntutan yang diberikan / dibutuhkan oleh konsumen.

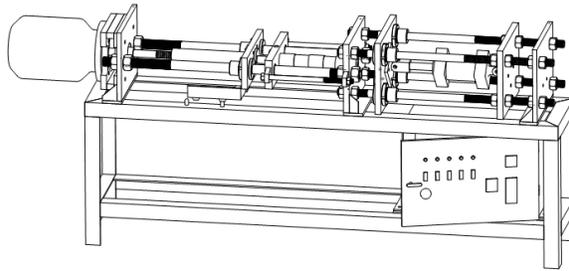
Tabel 3. Tuntutan mesin yang dirancang

No.	Informasi
1.	Pemanas bisa diatur suhunya.
2.	Kecepatan gerak injeksi dapat dikendalikan

A. Variasi elemen konstruksi

Untuk mempermudah dalam proses perancangan, berbagai macam informasi yang didapat mengenai konstruksi dari setiap elemen mesin akan diklasifikasikan menurut jenis, fungsi, kelebihan, kekurangan serta menurut nilai ekonomisnya.

B. Mesin injection molding hasil desain ulang



Gambar 3. Mesin injection molding hasil desain ulang

Analisa dan perhitungan

Perhitungan pemanas elektrik

Dalam pemilihan pemanas elektrik, ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti target panas yang diinginkan, waktu pemanasan awal, massa dari benda kerja yang dipanaskan, dan panas jenis dari material yang dipanaskan.

Untuk menentukan ukuran heater, menggunakan persamaan 1 sebagai berikut :

Daya heater (Q) : kWatt
 Massa barrel (m) : 2,293 kg (dengan timbangan digital)

Panas jenis material besi (C) : 0,113 $\frac{kCal}{kg \text{ } ^\circ C}$

Target panas yang dicapai : 300 $^\circ C$

Suhu ruang : 25 $^\circ C$

Waktu pemanasan (t) : 0,4 jam (24 menit)

Efisiensi (η) : 0,1 – 0,5

$$Q = \frac{2,293 \times 0,113 \times (300 - 25)}{0,1 \times 0,4 \times 0,5}$$

= 0,690455 kWatt \approx 690 Watt -----> diputuskan menggunakan 750 watt.

Untuk jenis pemanas elektrik yang dipilih adalah band heater karena menyesuaikan bentuk barrel yang dipanaskan sehingga pemasangan mudah karena bentuknya berupa silindris. Dan untuk memudahkan dalam pembelian atau pemesanan

maka dipilihlah 3 band heater dengan daya masing – masing 250 Watt.

Perhitungan diameter power screw dan pemilihan motor

Pada proses injeksi, diasumsikan tekanan pada proses injeksi dan clamping adalah sama besar. Pada mesin injection molding yang dirancang, menggunakan silinder pneumatic diameter 63 mm, dengan tekanan angin dari kompresor. Besarnya tekanan angin dari kompresor berkisar antara 6 – 8 bar. Maka perhitungan untuk diameter power screw berdasarkan persamaan 3 adalah sebagai berikut :

$$F_{injeksi} \leq F_{clamping}$$

Pada awal perhitungan, akan diasumsikan diameter shaft untuk perhitungan sebesar 25,4 mm (1 inch), dengan pemilihan ulir square 4 TPI, dengan material power screw adalah St.60.

Tekanan pada piston = 8 bar (1 bar = 0,1 N/mm)
 ($P_{clamping}$) = 0,1 x 8 = 0,8 N/mm²

Luas bidang piston (A) = $\frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{\pi}{4} \times 63^2$
 = 3117,245 mm²

$F_{clamping} = P_{clamping} \times A$
 = 0,8 N/mm² x 3117,245 mm²
 = 2493,796 N \approx 2494 N

Maka dengan demikian, $F_{injeksi} \leq 2494$ N. Oleh karena power screw berbentuk silindris, maka perhitungan menggunakan rumus 5 sebagai berikut :

$$F_{injeksi} = \frac{F_r \times 2\pi \times r}{p}$$

Dimana :

F_r = Gaya shaft (N)

p = pitch / jarak puncak ulir = $\frac{25,4}{4} = 6,35$ mm = 0,00635 m

r = Radius power screw

dengan asumsi awal menggunakan diameter power screw sebesar 25,4 mm jenis square thread 4 TPI, maka besarnya diameter minor power screw sebesar

$$d = 25,4 - (2 \times \frac{7}{16} p)$$

$$= 25,4 - (2 \times \frac{7}{16} \times 6,35) = 19,845$$

$$r = \frac{19,845}{2} = 9,93$$
 mm = 0,00993 m

maka besarnya gaya shaft berdasarkan persamaan 5 adalah :

$$F_r = \frac{F_{injeksi} \times p}{2\pi \times r}$$

$$= \frac{2494 \times 0,00635}{2\pi \times 0,00993} = 253,828$$
 N

Torsi yang terjadi sebesar :

$$T = F_r \times r$$

$$= 253,828 \times 0,00993$$

$$= 2,52$$
 Nm = 0,252 kgm

Pada tabel produsen motor listrik merk TECO, motor yang sesuai dengan kebutuhan torsi 0,252 kgm adalah motor dengan daya sebesar 0,5 hp.

Perhitungan diameter power screw

Dari perhitungan di atas dan berdasarkan data motor yang sudah dipilih, perhitungan Momen puntir dan diameter minimum yang bisa digunakan untuk power screw dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dan 7 :

Material *power screw* = St.60
 Daya motor (*P*) = 0,5 hp (*Horse power*)
 Putaran motor (*n*) = 750 Rpm
 Momen puntir (*Mt*) yang terjadi = $\frac{9550 \times P \times 0,735}{n}$
 $= \frac{9550 \times 0,5 \times 0,735}{750} = 4,6795 \text{ Nm}$

Karena *power screw* menerima beban puntir dan tekuk, maka menggunakan persamaan 7 sebagai berikut :

$d = c \times \sqrt[3]{M_t}$
 $= 6,3 \times \sqrt[3]{4,6795} = 10,53 \text{ mm}$

Dari perhitungan dapat diketahui bahwa diameter *power screw* pada asumsi di atas kuat untuk digunakan dalam konstruksi mesin injeksi.

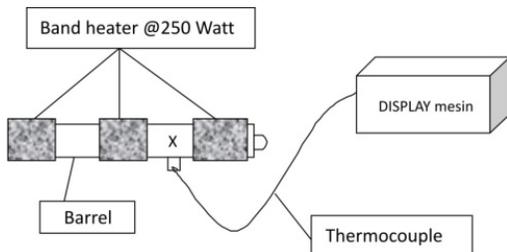
Pengujian komponen

Pengujian panas

Dalam pengujian panas, barrel dipanaskan tanpa diisi dengan material plastik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui penyebaran panas pada dinding barrel tanpa dipengaruhi adanya material plastik. Hal ini akan dibandingkan dengan besarnya rambatan panas sesuai dengan perhitungan / teoritisnya.

Kondisi dan data pada saat pengujian panas adalah sebagai berikut :

- Kondisi :
- Dengan biji plastik.
 - Suhu ruang 32 °C.
 - Data diambil pada pukul 15.30 WIB.
 - Suhu diatur 250 °C.
 - Area X diukur dengan thermocouple dan thermocontrol portable.

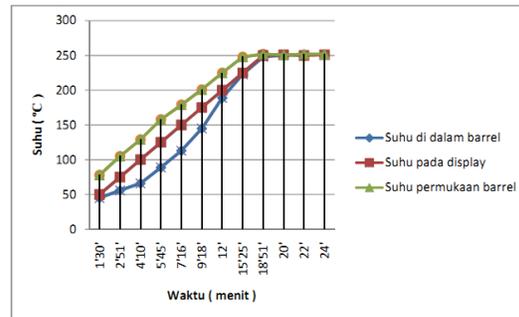


Gambar 4. Posisi pengukuran panas pada barrel

Tabel 4. Data perbandingan suhu pada display, pada permukaan, dan suhu di dalam barrel terhadap waktu

Waktu (menit)	Suhu di dalam barrel (°C)	Suhu pada display mesin (°C)	Suhu pada permukaan barrel (°C)
1'30'	45	50	78
2'51'	56	75	105
4'10'	66	100	129
5'45'	89	125	158
7'16'	113	150	179
9'18'	145	175	201
12'	189	200	225
15'25'	223	225	248
18'51'	248	250	252
20'	250	251	251
22'	251	250	252
24'	251	251	252

Dari data pengukuran suhu di dalam barrel dan pembacaan suhu pada display dengan referensi waktu yang sama, dapat dibuat grafik yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik perbandingan suhu pada permukaan, pada display dan suhu di dalam barrel terhadap waktu.

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa suhu yang terbaca di dalam barrel mulai mendekati suhu dinding dalam barrel pada menit ke – 12, dan hampir sama dengan suhu dinding dalam pada menit ke 15. Hal ini disebabkan pada menit ke – 15, panas pada heater mengalami kenaikan yang konstan ke suhu 250 °C sehingga memberikan waktu untuk suhu di dalam barrel menyesuaikan dengan suhu pada permukaan pada menit ke – 18.

Pengujian kecepatan

Pada pengujian kecepatan gerakan injeksi, hal yang dilakukan adalah melakukan pengukuran besarnya putaran motor, yang dibandingkan dengan besarnya frekuensi yang terbaca pada pengatur putaran motor (*inverter*). Kemudian dari data yang diperoleh, dilakukan perhitungan untuk mengetahui besarnya kecepatan linier gerakan injeksi. Tabel 5. menunjukkan data perhitungan kecepatan berdasar putaran, dan tabel 6 menunjukkan hasil pengujian kecepatan gerakan linier pada jarak 55 mm.

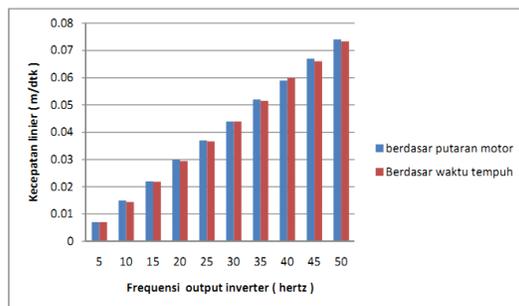
Tabel 5. Data perhitungan kecepatan berdasar putaran motor

Frekuensi output Inverter (hertz)	Putaran motor (Rpm)	Putaran dalam 1 detik	Kecepatan (m/s)
5	70	1,17	0,007
10	139	2,32	0,015
15	209	3,48	0,022
20	280	4,67	0,030
25	350	5,83	0,037
30	420	7	0,044
35	491	8,18	0,052
40	560	9,33	0,059
45	629	10,48	0,067
50	700	11,67	0,074

Tabel 6. Data Perhitungan kecepatan pada jarak 0,055 m

Frekuensi output Inverter (hertz)	Jarak Tempuh (m)	Waktu rata – rata (detik)	Kecepatan linier (m/s)
5	0,055	7,85	0,00700
10	0,055	3,8	0,01447
15	0,055	2,51	0,02185
20	0,055	1,86	0,02946
25	0,055	1,5	0,03667
30	0,055	1,25	0,04400
35	0,055	1,06	0,05156
40	0,055	0,91	0,0600
45	0,055	0,83	0,0660
50	0,055	0,75	0,0733

Dari tabel 5. dan tabel 6. dapat dibuat perbandingan antara frekuensi yang terlihat pada layar inverter dan kecepatan linier yang di dapat berdasarkan perhitungan.



Gambar 6. Grafik perbandingan frekuensi dan kecepatan linier injeksi

Pengujian kecepatan motor terhadap power screw mendapatkan data kecepatan injeksi dan bersifat linier. Pada gambar 6 terlihat bahwa kecepatan motor berbanding lurus dengan kecepatan injeksi. Semakin cepat putaran motor, semakin cepat kecepatan injeksinya.

Pengujian proses mesin injeksi

Pengujian dilakukan untuk memeriksa fungsi dari pengendali kecepatan injeksi dan panas dalam menghasilkan sebuah produk. Dalam pengujian proses permesinan, data yang dicatat adalah sebagai berikut :

Dari pengujian dengan mode otomatis, proses injeksi menghasilkan produk sebagai berikut :

1. Masih ada *flasing* dari material.
2. Ada material yang tidak penuh.
3. Warna dari benda yang dihasilkan tidak homogen.
4. Benda hasil injeksi sebagai berikut :



Gambar 7. Gambar produk hasil injeksi

PENUTUP

Kesimpulan

Dari desain ulang terhadap mesin injection molding milik Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Mesin injeksi dapat beroperasi sesuai dengan rancangan yaitu suhu pemanasan dapat diatur. Panas/temperatur maksimal yang bisa dicapai mesin injeksi ini adalah 324 °C.
2. Kecepatan injeksi mesin dapat diatur dengan mengubah besarnya putaran motor. Putaran motor kemudian dikonversikan ke gerakan linier, berikut tabel konversinya :

Frekuensi output Inverter (hertz)	Putaran motor (Rpm)	Kecepatan (m/s)
5	70	0,007
10	139	0,015
15	209	0,022
20	280	0,030
25	350	0,037
30	420	0,044
35	491	0,052
40	560	0,059
45	629	0,067
50	700	0,074

Saran

Berdasarkan desain ulang yang sudah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. *Unit clamping* dapat diganti dengan sistem mekanik, agar tidak terjadi *back pressure* seperti ketika menggunakan piston pneumatik.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P., 1997, *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Erlangga.
- Incropera, Frank P dan Witt, David P.De., 1981, Second Edition, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, United States of America.
- Ivascu, Neculai and Fetecau, Cătălin. 2010, *Dynamic Temperature Control in Injection Molding with New Conformal Heating / Cooling System*. The Annals “Dunarea De Jos” Of Galati Fascicle V, Technologies In Machine Building, ISSN 1221-4566, Canada
- Johannaber, Friedrich, 1997, *Injection Molding Machines (A user’s guide)*, Munich, Germany
- Kwong, C.K.; and Smith, G.F. (1998). *A computational system for process design of injection moulding: Combining blackboard-based expert system and case-based reasoning approach*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 14(4), 239-246.
- Low, Maria L. H. and K. S. Lee, 2004, *3D Rapid Realization Of Initial Design* . The International Journal of The Institution Of Engineers, Singapore, Vol. 44 Issue 4
- Netstal, C. (1978). *Instruction manual for injection moulding machine*. Netsal Machine and Foundry Limited, Switzerland, 36-60.
- Oyetunji, A, *Development Of Small Injection Moulding Machine For Forming Small Plastic Articles For Small – Scale Industries*. Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 5, No. 1 (2010) 17 – 29, Department of Metallurgical and Materials Engineering, The Federal University of Technology, Akure, Ondo State, Nigeria.
- Sudibyoy, B., *Poros Penyangga dan Poros Transmisi*, ATMI Press