PERENCANAAN SISTEM PENDINGINAN CETAKAN PLASTIK *HOLDER PULLEY* PERUSAHAAN MANUFAKTUR

Yunus Yakub [1] dan Madinah [2]

[1) & 2)] Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakulatas Teknologi Industri
Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

ABSTRAKSI

Untuk menghasilkan produk plastik dengan proses injeksi diperlukan cetakan (mold) yang konstruksinya memenuhi standar spesifikasi rancangan produk. Dalam hubungannya dengan injection mold maka penulis mengangkat tema mengenai perencanaan sistem pendinginan pada cetakan plastik Holder Pulley di Perusahaan Manufaktur Printer. Dengan perhitungan yang presisi pada setiap komponen produk dan sistem pendingin, perencanaan ini menghasilkan temperatur kerja mold yang konstan dan bekerja dalam range temperatur mold serta dapat menghasilkan produk sesuai dengan rancangan yang diinginkan. sehingga dapat menigkatkan produktifitas cetakan plastik.

Kata Kunci : Mesin cetak plastik, Saluran pendingin, temperatur cetakan

PENDAHULUAN

Untuk mendapatkan produk yang optimal dari sisi tampilan poduk, efisiensi proses dan waktu berpoduksi dalam proses pencetakan produk plastik banyak dipengaruhi berbagai faktor. Oleh karena itu sangat diperlukan pengetahuan dan pemahaman tentang prinsip dasar teknik desain cetakan, proses manufaktur, proses injeksi dan parameter lain yang berpengaruh terhadap perancangan cetakan (*mold).* Dalam perancangan cetakan, unsur yang berpengaruh terhadap konstruksi cetakan adalah spesifikasi produk yang mencakup desain dan bahan produk, proses pencetakan atau spesifikasi mesin yang terdiri dari data kapasitas mesin, jenis proses dan sistem cetakan, dimensi cetakan, perencanaan bahan dan konstruksi *part* aktif (*insert* atau *non insert*) dan desain cetakan yang terdiri dari penentuan *parting line,* sistem saluran (*gate* dan *runner*), sistem pendingin dan sistem injeksi. Pada desain cetakan mencakup pembahasan sistem pendingin, yaitu menurunkan temperatur plastik dalam rongga cetak atau mendinginkan produk dan menjaga temperatur cetakan atau temperatur kaviti dan inti pada kondisi kerja yang tepat.

Studi sistem pendinginan cetakan plastik *Holder Pulley* di salah satu perusahaan yang memproduksi *printer* ini ditujukan untuk perencanaan sistem pendingin untuk cetakan plastik dan menghitung komponen produk dan diameter saluran pendingin sehingga dapat menghasilkan produk sesuai dengan yang diinginkan.

Injection merupakan proses yang sangat populer dalam pembuatan benda-benda plastik dari jenis *thermoplastic* yaitu dengan cara menginjeksikan cairan plastik dari mesin ke dalam cetakan plastik. Untuk pengerjaan injeksi

membutuhkan mesin injeksi dan cetakan (*molding*), komponen-komponen mesin injeksi plastik secara garis besar dibagi ke dalam dua komponen yaitu pencekam dan komponen injeksi.

Fungsi pencekam yaitu untuk membuka dan menutup setengah bagian cetakan, untuk mengeluarkan (*ejected*) komponen plastik, dan untuk mengunci penutupan cetakan dengan gaya-gaya yang cukup untuk menjaga tekanan lelehan di dalam rongga cetak sewaktu pengisian. *Clamping force* yang dibutuhkan bervariasi antara 100 hingga 2000 Ton tergantung dari jenis/tipe mesin yang digunakan.

Setelah setengah bagian cetakan terbuka, komponen plastik yang cenderung mengkerut dan menyatu dengan inti cetakan harus dikeluarkan dengan sistem *ejector* yang terdapat pada bagian pencekam.

Komponen injeksi memiliki dua fungsi, yaitu melelehkan serbuk atau pelet dan untuk menyuntikan lelehan plastik ke dalam cetakan. Jenis bagian injeksi *(injection unit)* yang sering digunakan adalah :

a. Bagian konvensional terdiri atas silinder dan sebuah *plunger* untuk mendorong lelehan plastik ke dalam rongga cetak.
b. Unit *reciprocating screw*, terdiri atas silinder dan sebuah ulir yang berputar untuk melelehkan dan memompakan plastik ke bak penampung (*Hopper*) ke ujung ulir dan kemudian bergerak ke depan untuk memaksa lelehan plastik masuk ke rongga cetak.

Dipakai jenis *reciprocating screw* karena aksi pengadukkan yang lebih baik, dimana gerakan lelehan plastik sepanjang lintasan ulir membantu menjaga temperaturnya seragam, dengan demikian pencampuran *(blending)* yang lebih sempurna antara material *polymer* dengan zat pewarna

Cetakan Injeksi berfungsi sebagai wadah yang mempunyai bentuk seperti komponen yang akan diproduksi dan merupakan tempat terjadinya plastikasi *polymer* dan kemudian untuk mendinginkan komponen plastik itu sendiri.

Sebuah cetakan dibangun oleh dua set komponen, yaitu :

a. Rongga cetak dan cetakan (*cavity* dan *mold*)
b. Cetakan dasar (*moldbase)* dimana cetakan dan rongga cetak diletakkan.

Ukuran dan berat dari komponen plastik dibatasi oleh jumlah rongga cetak (*cavities*) dalam cetakan dan juga menentukan kapasitas peralatan yang dibutuhkan. Dengan mempertimbangkan proses pencetakan, sebuah cetakan harus dirancang untuk dapat menahan gaya-gaya yang berasal dari *clamping*, *injection*, dan *ejection.* Perancangan dari *gates* dan *runners* juga harus mengikuti aliran yang efisien dan pengisian rongga cetak yang seragam.

Pada dasarnya cetakan terdiri atas dua bagian, yaitu bagian stasioner (*cavity plate*), dimana polimer cair diisikan, dan bagian yang bergerak (*core plate*) pada sisi penutup atau sisi *ejector* dari suatu bagian cetakan injeksi. Plastik cair

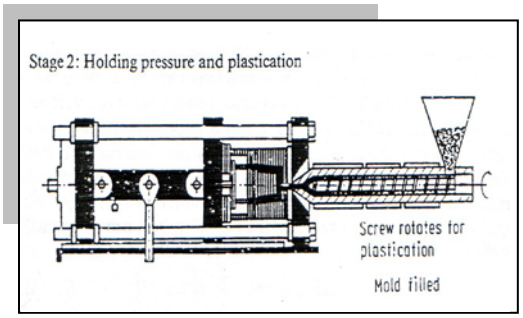
disalurkan melalui saluran pusat (*sprue.).*

Sistem *runner* yang lengkap beserta *sprue* dan *gates* merupakan sistem saluran untuk cairan meterial plastik. *Sprue bushing* berfungsi sebagai saluran masuk untuk plastik yang sudah dicairkan dari ruang pemanas menuju cetakan atau sistim *runner*. Material pada *sprue* yang berbentuk seperti wortel ini merupakan gerbang transisi dari termoplastik cair yang panas menuju ruang rongga cetak yang relatif lebih dingin. Sistem *runner* digunakan dalam cetakan *multi cavity* dan berlaku sebagai saluran penghubung antara *sprue bush* dengan *gates* dan rongga cetak. *Gate* merupakan pembatas antara sistem penyalur dan rongga cetak berguna untuk mendinginkan dengan cepat dan mencegah bahan plastik mengalir keluar dari rongga cetak ketika tekanan injeksi mulai dihilangkan. Umumnya sistem *runner* terdiri dari beberapa komponen yaitu s*prue, runners* (*runner* primer dan *runner* sekunder) dan g*ate.* Penampang *runner* yang digunakan berbentuk *trapezium*, karena lebih mudah dalam pengerjaan sedangkan kerugiannya plastik yang terbuang lebih banyak daripada bentuk melingkar. Jumlah rongga cetak (*cavity)* yang digunakan hanya satu, maka letak atau posisi *cavity* tersebut diusahakan tepat berada pada titik pusat *mold*. Kondisi ini akan akan mengakomodasi aliran plastik yang langsung dari *sprue* menuju *cavity* pada jarak yang terpendeknya sehingga tekanan injeksi yang hilang bisa dihindarkan. Pengaturan *cavity* paling ideal adalah dengan posisi melingkar, karena penurunan tekanan yang disebabkan pembelokan *runner* bisa dihindari mengakomodasi aliran plastik yang langsung dari *sprue* menuju *cavity* sehingga tekanan injeksi yang hilang bisa dihindarkan.

Pada pengisian terdiri atas langkah penekanan dari *plunyer* atau bagian injeksi agar lelehan material mengalir dari silinder pemanas menuju *nozzle* dan berikutnya masuk ke dalam cetakan. Jumlah material yang akan dipindahkan kedalam cetakan dinamakan sebagai *shot*, tahap pengisian ini diikuti dengan kenaikan tekanan secara bertahap. Segera setelah rongga cetak terisi, tekanan bertambah dengan cepat dan terjadilah pengepakan *(packing).* Selama proses pengepakan, material terus mengalir dengan laju semakin lambat untuk mengimbangi kehilangan material dan terjadinya penyusutan *(shrinkage).* Setelah pengepakan, *plunger* injeksi ditarik kembali dan tekanan di dalam rongga cetak turun dengan cepat.

Pendinginan dimulai dari pengisian material ke dalam rongga cetak dengan cepat dilanjutkan dengan pengepakan dan kemudian diikuti dengan penarikan *plunger* yang mengkibatkan tekanan di *nozzle* dan rongga cetak turun lihat pada gambar 1. Pada titik dimana terjadi penurunan tekanan, tepatnya diperbatasan antara rongga cetak dan saluran rongga cetak pada *gate* terdapat material yang masih dalam keadaan cair, terutama untuk komponen yang berukuran besar. Karena terjadinya *pressure drop*, maka terdapat kemungkinan arah aliran material berbalik dari rongga cetak, sampai

material di *gate* menjadi padat (mengalami *solidification*) sehingga terbentuk *shelling point.*



Gambar 1. Proses pendinginan

Fluida yang digunakan untuk pendingin adalah air dengan temperatur yang dapat dicapai 5^{O}C sampai 90^{O}C dan oli dengan temperatur yang dapat dicapai >90^{O}C sampai 300^{O}C. Pada perencanaan saluran pendingin yang menggunakan fluida air, jarak antar saluran yang berdekatan harus lebih besar dari ukuran selang air (pipa saluran), perbedaan temperatur cairan masuk dan keluar dijaga agar tidak lebih dari 5^{O}C, arah pendinginan mulai dari *cavity* menuju *sprue* Waktu pendinginan adalah waktu yang diperlukan untuk mendinginkan produk setelah pengisian. Lamanya waktu pendinginan dihitung mulai dari terjadinya pemadatan sampai waktu membuka.

$$t_K = t_N + t_{KU} \qquad (1)$$

dimana :

t_K : waktu pendinginan

t_N : waktu pemadatan

t_{KU} : waktu pendinginan produk

Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan produk didalam rongga cetak setelah pemadatan dihitung dari hubungan :

$$t_{KU} = \left(\frac{s^2}{\alpha_{eff}}\right)\frac{4}{\pi^2}\ln\left(\left(\frac{8}{\pi^2}\right)\frac{T_m - T_w}{T_e - T_w}\right) \qquad (2)$$

Dimana :

t_{KU} : waktu pendinginan produk (detik)

s : tebal produk (mm)

α_{eff} : *thermal diffusivity* efektif plastik ($mm^2/s/10^{-4}$)

T_m : temperatur leleh (^{o}C)

T_w : temperatur dinding (^{o}C)

T_e : temperatur sentak (^{o}C)

Kuantitas panas dari proses cetakan :

$$Q = \Delta h.A_M.s.\rho(J) \qquad (3)$$

Fluks panas dari proses cetakan ke dalam cetakan :

$$q = \frac{\Delta h.A_M.s.\rho}{2.t_c} \qquad (4)$$

dimana :

q : kepadatan *heat flux* (J/s)

Δh : perbedaan energi spesifik (*enthalpy*) (J/kg)

s : ketebalan dinding (m)

A_M : area permukaan cetakan (m^2)

t_c : waktu pendinginan = K'.s^2

dimana $K' = \frac{1}{a.\pi^2}.\ln\left(\frac{8}{\pi^2}.\frac{1}{\Theta}\right)$

ρ : kekentalan cairan pendingin (kg/m^3)

Densitas fluks panas dari proses cetakan :

$$\dot{q} = \frac{\Delta h.A_M.s.\rho}{A_M.t_c.2} \qquad (5)$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta h.s.\rho}{2.K'.s^2} = \frac{\Delta h.\rho}{K'}.\frac{1}{s} \qquad (6)$$

Dapat dikombinasikan $\frac{\Delta h.\rho}{K'}$=K kedalam konstanta material tunggal dimana :

$$\dot{q} = K.\frac{1}{s} \qquad (7)$$

Laju pendinginan yang dibutuhkan V_C ditentukan dengan kenaikan yang diizinkan pada temperatur pendingin, lihat gambar 2.

$$\dot{V}_C = \frac{\dot{q}.A_M}{\rho_C.c_C.T_C} (\text{m}^3/\text{s}) \qquad (8)$$

Di mana :

$\dot{q}$: densitas fluks panas (W/m^2)
A_M : area permukaan proses cetakan (m^2)
ρ_C : kekentalan cairan pendingin (kg/m^3)
c_C :kapasitas panas spesifik cairan pendingin (J/(kg.K))

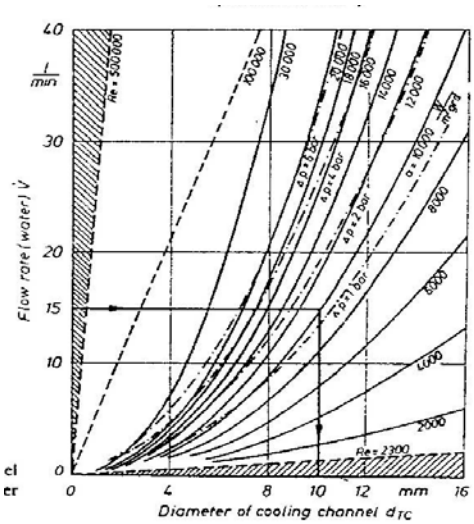
Jika tekanan rendah dan ukuran saluran diberikan pada saat yang bersamaan, maka diperlukan laju aliran untuk cairan pendingin yang pasti terdapat pada diameter saluran yang dipilih.

$$d_C = \sqrt[4]{\frac{\rho_c.\dot{V}_c^{\,2}.16}{\Delta p.2.\pi^2}\left(f_c \frac{L_c}{d_c} + n_c.K_c \right)} \qquad (9)$$

dimana :

fc : faktor gesekan pada pipa, gambar. 2. fc = 0.05
Lc : panjang saluran (m), gambar. 2
Lc/ = 2
n_c : *number of turns*, gambar. 2; n_c = 10
Kc : koefisien hambatan, gbr. 2 ,Kc = 1.9
Vc : laju aliran pendingin (m^3/s)
dc : diameter saluran (m)
Δp : penurunan tekanan (Pa)

Untuk faktor gesekan pada pipa, panjang saluran dan jumlah belokan pada persamaan 9 dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar-2 Koefisien perpindahan panas dan estimasi diameter saluran

METODOLOGI

Sampel Produk

Material produk yang digunakan adalah *Polypropylene (PP)*, mempunyai ketebalan produk rata-rata 1.5 mm. Terjadinya pengecilan dimensi produk aktual dari dimensi rongga cetak, karena adanya perubahan fasa dari cair ke padat akibat perubahan temperatur dan berlangsung selama terjadinya proses pendinginan. Dimana besarnya ukuran cetakan injeksi dipengaruhi oleh faktor tebal dinding produk, luas proyeksi isian (produk + *runner* + *sprue* + *gate*) dan

posisi *gate* terhadap sisi terjauh produk. Jumlah *cavity* yang ada pada cetakan plastic. *Holder Pulley* ini hanya satu *cavity*. Diketahui untuk gaya cekam mesin (F_m) di dapat dari data mesin yaitu sebesar 150 ton

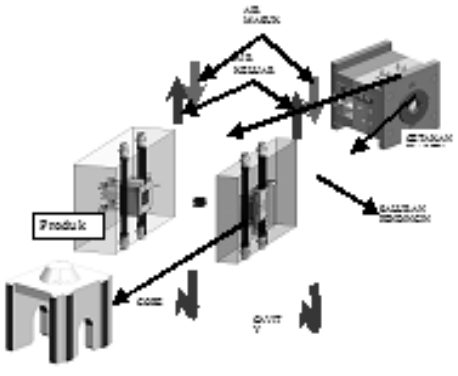
Jenis Pendingin

Fluida pendingin yang akan digunakan pada cetakan ini adalah air karena ekonomis dan mampu untuk mendinginkan cetakan plastik.

Material cetakan (*mold*) yang digunakan disini adalah baja ST-60, karena material ini sudah cukup kuat, sedangkan sebagai *mold* plastik dengan material plastiknya adalah bahan *Polypropylene*(PP).

Perencanaan Jalur Pendingin

Pertama cetakan plastik terlebih dahulu di pasang pada mesin injeksi**,** **s**etelah cetakan plastik terpasang, jalur pendingin untuk cetakan dari *cooling tower* terlebih dahulu masuk ke *mold temperature control unit*, kemudian di alirkan ke dalam cetakan plastik,lihat gambar 3.



Gambar-3. Jalur pendingin

PEMBAHASAN

Sprue* dan *Runner

Perhitungan *runner*

$$D = S_{\max} + 1{,}5\ mm$$

$$D = 1{,}5 + 1{,}5 = 3\ mm$$

Pendekatan secara empiris

Jika : W = 4,4 gr

L = 65.1355 mm

$$D = \frac{\sqrt{W}}{3{,}7}\, x \sqrt[4]{L} = \frac{\sqrt{4.4}}{3{,}7}\, x \sqrt[4]{65.1355}$$

$$D = 1{,}611\ mm \approx 2\ mm$$

Perhitungan *gate*

Sesuai pemilihan jenis gate yang di gunakan yaitu *pinpoint gate*, maka gate ini tidak akan terbentuk karena hanya berupa titik saja.

Jika :

G : berat produk = 4.4 gr

ρ : massa jenis plastik = 0.91 gr/cm^3

V : kecepatan alir material = 22 cm/s

Penampang *gate* teoritis:

$$A_g = \frac{G}{\rho x V x t}$$

Kecepatan injeksi :

C_A: kapasitas alir mesin = 155 cm^3/s

A_{NOZZ} : luas penampang *nozzle*

= *7,07 cm^2*

$$V = \frac{C_A}{A_{NOZZ}} = \frac{155}{7{,}07} = 21{,}92 \approx 22\ cm/s$$

maka :

A_g = 0,111 cm^2 ≈ 0,1 cm^2 = 10 mm^2

Dimensi *gate* juga bisa dicari dengan persamaan 2.7 yaitu :

Dimana :

A : luas permukaan rongga cetak

A = 885 mm^2

n : Konstanta material PP = 0.7

$$W = \frac{n\sqrt{A}}{30} = \frac{0{,}7\sqrt{885}}{30} = 0.69\,mm \approx 0.7\,mm$$

Untuk tebal *gate* dapat dihitung dari persamaan 2.8 yaitu :

Diketahui :

t : tebal dinding produk rata-rata

t = 1.5mm

n : Konstanta material PP = 0.7

$$h = nxt = 0{,}7x1{,}5 = 1{,}05\,mm \approx 1{,}1\,mm$$

Waktu pendinginan dan pemadatan

Untuk menghasilkan pendingin yang efektif dan merata, maka jarak pendingin perlu diperhatikan, lihat pada tabel 1 memberikan referensi untuk saluran pendingin

Tabel -1. Jarak saluran

Tebal dinding produk S (mm)	**Jarak sumbu saluran terhadap permukaan C (mm)**	**Jarak antar sumbu saluran B (mm)**	**Diameter saluran D_C (mm)**
0 - 1	11,3 – 15	10 – 13	4,5 – 6
1 - 2	15 – 21	13 – 19	6 – 8,5
2 - 4	21 – 27	19 – 23	8,5 – 11
4 - 6	27 – 35	23 – 30,5	11 – 14
6 - 8	35 – 50	30,5 - 40	14 – 18

a) Waktu pendinginan :

Waktu pendinginan produk :

Jika : s = 1.5

α_{eff} = 0,067 mm^2/s

$T_{material\ cair}$, T_m = 250 ^oC

T_{mold} , T_w = 50 ^oC

T_e = 85 ^oC

Maka dengan persamaan 1 didapat :

$$t_{KU} = 21\det ik = 0.35\ menit$$

Untuk waktu pemadatan didapat,

t_N = 15 detik = 0.25 menit.

Maka waktu pendinginan adalah :

$$t_K = t_N + t_{KU}$$

$$= 15\det ik + 21\det ik = 36\det ik$$

$$t_K = 0.6 menit$$

b) Kapasitas penukar kalor

Kuantitas panas dari proses cetakan :

Jika $\Delta h = 2382{,}8\ {kJ}/{kg}$

S : 1.5mm

A_M: $1 \cdot 5224.10^{-3} m^2$

P : 100 kg/m^3

maka $Q = 5.439\,kJ \approx 5.4kJ = 5400J$

c) Fluks panas dari proses cetakan ke dalam setiap setengah cetakan :

Dimana : $K' = \frac{1}{a \cdot \pi^2} \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{\Theta}\right)$

$$\Theta = \frac{T_e - T_W}{T_M - T_W} = \frac{85-50}{250-200} = \frac{35}{200} = 0{,}175$$

Harga a didapat dari gambar 2. = 0,05 mm^2/s

$$K' = \frac{1}{0{,}05 \cdot \pi^2} \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{0{,}175}\right) = 3{,}11\ {s}/{mm^2}$$

$$t_c = K' \cdot s^2 = 3{,}11 \cdot (1.5)^2 = 6.9975\ s \approx 7s$$

maka :

Densitas fluks panas dari proses cetakan :

$$\dot{q} = \frac{\Delta h.s.\rho}{2.K'.s^2} = \frac{\Delta h.\rho}{K'} . \frac{1}{s}$$

$$= \frac{2382{,}8 \cdot 1000}{3{,}11.10^6} \cdot \frac{1}{1.5.10^{-3}} = 766\,kJ/s\,m^2$$

$$= 766.10^3\ {J}/{s.m^2}$$

$$= 766.10^3\ {W}/{m^2}$$

Laju pendinginan yang dibutuhkan V_C ditentukan dengan kenaikan yang diijinkan pada temperatur pendingin.

$$\dot{V}_C = \frac{\dot{q}.A_M}{\rho_C.c_C.T_C}$$

$$= \frac{766.10^3 \cdot 1 \cdot 5224.10^{-3}}{1000 \cdot 4{,}201.10^3 \cdot 90} = 3{,}084.10^{-6}\ m^3/\text{s}$$

Jika tekanan rendah dan ukuran saluran diberikan pada saat yang bersamaan, maka diperlukan laju aliran untuk cairan pendingin yang pasti terdapat pada diameter saluran yang dipilih (*dc*).

$$d_c = \sqrt[4]{2{,}1.10^{-9}} = 0{,}00671\,m \approx 7\ mm$$

KESIMPULAN

1. Cetakan ini dapat menghasilkan produk sesuai dengan rancangan produk yang diinginkan.
2. Material yang digunakan pada cetakan adalah ST-60 dengan kekuatan tarik sebesar σ_B = 18 kg/mm^2, sedangkan kekuatan tarik ijin dari material adalah σ_B = 37 kg/mm^2, maka material ST-60 aman digunakan pada mesin VEA TANG Easy 9000 Yc – 150T.
3. Sistem cetakan plastik yang digunakan adalah *three-plate mold* dengan menggunakan jenis *pinpoint gate*
4. Diameter saluran yang dipilih apabila tekanan rendah dan ukuran saluran yang diberikan saat bersamaan, d_c = 7 mm.Berdasarkan data hasil perhitungan diameter saluran pendingin sesuai dengan tabel, dimana untuk ketebalan produk 1,5 mm di butuhkan diameter saluran 6 – 8,5 mm.
1. Analisa temperatur kerja *injection mold*

   Temperatur *mold* saat bekerja

   $T_{\text{cair material}}$ = 250^{O}C

   T_{mold} = 50^{O}C

Pada saat *mold* bekerja pada mesin injeksi plastik, temperatur *mold* terus meningkat, temperatur yang terjadi konstan yaitu 55^{O}C maka berarti temperatur kerja *mold* yang terjadi masuk ke dalam *range* temperatur *mold* untuk material produk *Polypropylene*

DAFTAR PUSTAKA

1. A.B.Glanvill and E.N. Denton,1965, *Injection Mold Design Fundamentals*, Machinery Publishing, Co Ltd, Brighton 1, England,.
2. Charles A. Harper, 1979, *Modern Plastics Hand Book*, McGraw-Hill, New York,.
3. Chung San, 1996, *Instruction Manual of Injection Molding Machine,* Vea Tang, Taiwan.
4. Futaba Corporation, *Futaba Standard Plastic Mold Design*.
5. Geofry, 1989, *Introduction to Injection Molding,* McGraw – Hill Book Company, New York,.
6. Goeritno Wahjoe, 2000, Elemen Pengikat dan Penghubung, Standar POLMAN, Seri 0, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung,.

7. Gordon B. Thayer, M.E, 1941, *Plastic Molds Designing*, American Publishers, Cleveland, Ohio,.
8. Menges/ Mohren, 1986, *How to make Injection Molding*, Hanser Publisher, Munich, Vienna, New York,.
9. Muharani Rini, 2005, Modifikasi Cetakan Injeksi Tutup Salep M dari 24 *cavity* menjadi 36 *cavity*, Politeknik Manufaktur Bandung, POLMAN, Bandung,.
10. Widodo Anton, 1999, Pengembangan Aplikasi Autocad R14 untuk Perancangan dan Pembuatan Gambar Teknik Cetakan Injeksi, Institut Teknologi Bandung ITB, Bandung.