

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Perancangan sistem konstruksi *mold slider* yang baik digunakan untuk memproduksi sebuah produk yang mempunyai *undercut* atau tonjolan dengan skala besar, membutuhkan pertimbangan dan perhitungan yang baik agar pada saat diproduksi tidak ada cacat atau gagal pada bagian permukaan sebuah produk dan tidak menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Adapun penelitian yang berkaitan dengan sistem konstruksi *mold slider* sebagai berikut.

Perancangan yang dilakukan oleh Camaj (2015) dengan judul *Multy-cavity injection mold design*, penelitiannya membahas tentang perancangan cetakan *multy-cavity*, serta menguraikan masalah cetakan injeksi dan desain produk dengan meliputi sistem *hot runner*, sistem *cooling*, dan sistem *slider*. Dalam penelitian ini penulis memberikan informasi tentang urutan mendesain cetakan serta menganalisa produk secara optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Pindak (2012) dengan judul *Design of injection mold including cooling system optimization*, dari hasil penelitiannya bahwa mengoptimasi saluran pendingin pada sebuah cetakan ini terbagi menjadi dua jenis yaitu sistem saluran pendingin konvensional dan saluran sistem pendingin konformal, Pada penelitian ini produk dianalisis menggunakan aplikasi *Mold flow insight*. penelitian ini memberikan informasi pengetahuan tentang simulasi cetakan injeksi sangatlah penting untuk mengoptimalkan proses, sehingga dapat mencegah terjadinya deformasi dan kesalahan lainnya pada bagian cetakan.

Menurut Indrian, dan Chandra (2012) dengan judul perancangan *mold bottom cover untuk produk box kwh meter di "CV KARYA CIPTA AGUNG" bandung*, dalam penelitian ini konstruksi yang digunakan adalah *eksternal slider* dan *internal slider*. Mekanisme yang digunakan pada cetakan *bottom cover* ini

menggunakan sistem *angular pin* dengan memanfaatkan gerakan bukaan dari cetakan, sistem pendingin yang digunakan yaitu sistem *baffle*, sementara sistem pengeluaran menggunakan sistem *ejector pin*. Pada penelitian tersebut perhitungan analisis berupa perhitungan dimensi *core* dan *cavity*, dimensi *runner*, *gate*, pegas *return pin*, pegas pendorong *internal slider* sebagai pertimbangan dalam membuat konstruksi *mold slider*.

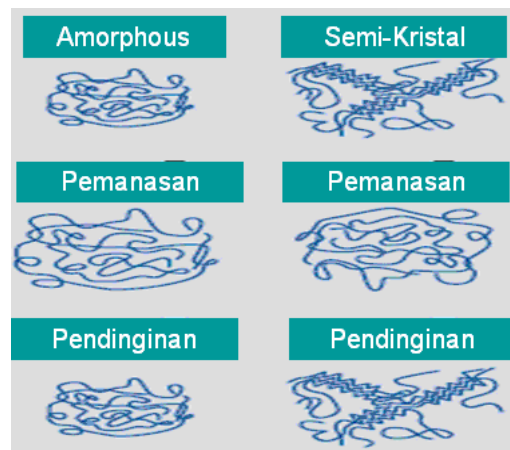
2.2. Dasar Teori

2.2.1. Morphologi (*Amorphous* dan Semi-Kristal)

Morphologi menjelaskan tentang bentuk dan struktur molekul polimer dalam keadaan solid. Dalam kondisi solid polimer dapat berstruktur *amorphous* (non kristal) atau semi-kristal, istilah semi-kristal digunakan karena kondisi kristal penuh tidak akan dapat dicapai oleh polimer karena dapat dipastikan adanya bagian *amorphous* yang menghubungkan bagian kristal. Adapun Bahan semi-kristal polimer dapat mengandung fraksi kristal yang berbeda-beda, nilai kandungan pada kristal dalam prosentase disebut sebagai derajat kristalisasi (*degree of crystallinity*). Derajat kristal bervariasi dari dominasi daerah *amorph* yang lebih besar hingga mendekati 95% kristal, berbeda dengan metal yang mengandung 100% kristal, atau bahan keramik yang dapat mengandung 100% kristal atau 100% non kristal.

Derajat kristal sangat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan selama proses pembekuan. Selama kristalisasi dari kondisi awal cair, rantai molekul akan tampak sangat acak. Dengan waktu pendinginan yang cukup bagian kristal akan terlipat secara teratur yang terhubung oleh bagian kristal lainnya dengan pengikat *amorphous*. Struktur *amorphous* terlihat tak teratur dan dapat dibayangkan seperti *spaghetti* atau mie, kondisi ini yang memungkinkan polimer bersifat fleksibel. Polimer berstruktur *amorphous* secara fisik transparan dan dalam pemrosesannya lebih mudah (memerlukan suhu relative rendah), sedangkan polimer semi-kristal tampak buram karena kandungan kristal akan menghalangi transmisi cahaya. Kandungan kristal juga memberi kontribusi pada kekuatan, kekakuan, dan resistensi terhadap kondisi luar.

Kedua jenis polimer ini akan tampak berstruktur sama saat dipanaskan karena baik *amorphous* maupun semi kristal saat dipanaskan akan mengalami perenggangan, khususnya untuk semi-kristal, bagian kristal yang terlipat akan terurai dan tampak tidak teratur atau acak. Namun saat kembali didinginkan, bagian kristal akan terlipat dan teratur kembali. Oleh karena itu jika dilihat dari besarnya penyusutan, polimer semi kristal akan menyusut lebih besar jika dibandingkan dengan polimer *amorphous*. Perubahan secara morfologis akibat pemanasan dan pendinginan dapat dilihat pada gambar 2.1. (Budiyantoro, 2009:23).



Gambar 2.1. Struktur polimer dalam kondisi cair dan solid
(Sumber: Budiyantoro, 2009)

Tabel di bawah dapat disimpulkan bahwa morfologi sangat berpengaruh pada sifat fisik, penampilan, maupun perubahan karena pengaruh panas. Beberapa jenis polimer yang dikelompokkan menurut morfologinya dapat dilihat berikut ini:

- 1 Kelompok *amorphous*: PC, PS, PVC, PPS, ABS, PMMA, PPO, PAN.
- 2 Kelompok semikristal: PP, PA, PET, PBT, POM.

Tabel 2.1, adalah perbandingan sifat-sifat bahan dari kedua jenis struktur polimer.

Tabel 2.1. Perbedaan sifat morfologi polimer

Jenis Polimer	<i>Amorphous</i>	Semi-Kristal
Struktur mikro	Orientasi molekul acak, dalam kondisi cair maupun padat	Orientasi molekul acak dalam kondisi cair, teratur, dan kompak dalam kondisi padat
Reaksi terhadap panas	Melunak pada daerah temperature lebar	Titik lebur tertentu
Sifat-sifat umum		
Transparansi	Transparan	Buram (<i>Opaque</i>)
<i>Specific gravity</i>	Rendah	Tinggi
Kekuatan tarik	Rendah	Tinggi
Modulus elastisitas	Rendah	Tinggi
Keuletan	Tinggi	Rendah
Ketahanan terhadap deformasi rambatan (<i>creep</i>)	Rendah	Tinggi
Suhu operasi	Rendah	Tinggi
Performa fatigue	Rendah	Tinggi
Aliran	Rendah	Tinggi
<i>Shrinkage & warpage</i>	Rendah	Tinggi
Ketahanan terhadap kimia	Rendah	Tinggi
Penampilan <i>surface</i>	Tinggi	Rendah
Stabilitas ukuran	Tinggi	Rendah

(Sumber: Budiyanoro, 2009)

2.2.2. Polyethylene Terephthalate (PET)

PET mulai dikembangkan pada tahun 1945 dengan proses polikondensasi antara *terephthalic acid* dan *ethylene glycol* dengan konsumsi pemakaian utama pada produk botol kemasan minuman, toples kemasan makanan, dan film. PET merupakan keluarga *polyester* seperti halnya PC. Polimer PET dapat diberi penguat *fiber glass*, atau *filler* mineral. PET film bersifat jernih, kuat, liat,

dimensinya stabil, tahan nyala api, tidak beracun, permeabilitas terhadap gas, aroma maupun air rendah. PET mempunyai kombinasi sifat-sifat: kekuatan (*strength*)-nya tinggi, kaku (*stiffness*), dimensinya stabil, tahan bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. PET memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air. Pada tabel 2.2, merupakan sifat-sifat dari PET.

Tabel 2.2. Sifat-sifat PET

Sifat	Besaran
Massa jenis	1.33-1.45 g/cm ³
Modulus elastisitas	2100-3100 MPa
Kandungan kristal	30-40 %
Kekuatan mulur	55-80 MPa
Regangan mulur	4-7 %
Regangan patah	> 50 %
Tm	250-260° C
Suhu proses (injeksi)	440-660° F
Suhu proses (ekstrusi)	520-580° F
Penyusutan	1.3 – 1.5 %
Kekerasan (<i>Rockwell</i>)	M 94
Tekanan <i>cavity</i>	300-500 Bar
Tekanan injeksi	1200-1700 Bar

(Sumber: Budiyanoro, 2009)

PET dapat diproses dengan proses ekstrusi pada suhu tinggi 520-580⁰ F, selain itu juga dapat diproses dengan teknik cetak injeksi maupun cetak tiup. Sebelum dicetak sebaiknya resin PET dikeringkan lebih dahulu (maksimum kandungan uap air 0,02%) untuk mencegah terjadinya proses hidrolisa selama pencetakan. Derajat kristal dan arah orientasinya akan membedakan sifat fisik

dari resin termasuk berat jenisnya. PET semi-kristal memiliki berat jenis 1.455 gr/cm³, Kandungan kristal pada PET tidak terlalu tinggi hanya berkisar antara 30-40% sehingga dengan tambahan *nucleating agent* bahan ini akan menjadi transparan. Tanpa tambahan *nucleating agent* dan *plasticizer*, PET akan mengalami pendinginan secara perlahan sehingga menjadi masalah untuk proses injeksi karena diperlukan *mold* yang panas atau waktu siklus lebih lama. Karakteristik PET secara ringkas sebagai berikut:

- a. Ketahanan terhadap mineral *oil*, larutan kimia dan asam baik.
- b. Keras, kaku, kuat, bahan yang secara dimensi stabil.
- c. Menyerap sedikit air.
- d. Sifat penghalang gas baik.
- e. Seringkali ditambah bahan penguat.
- f. Tahan gores.

Yang dimaksud dengan sifat penghalang gas di atas adalah kemampuan menahan rembesan gas dari dua arah permukaan produk, dengan sifat ini PET menjadi populer digunakan sebagai bahan botol kemasan minuman karena mampu mempertahankan aroma. Secara sederhana PET dapat diidentifikasi dengan dibakar melalui baunya yang harum, cairan yang menetes, dan nyala dasar berwarna orange. (Budiyantoro, 2009:78)

Pada Tabel 2.3, merupakan sifat-sifat dan parameter proses injeksi dengan produsen Dupont Engineering Polymers, *Rynite* PET 545 NC010 adalah material yang digunakan pada perancangan produk.

Tabel 2.3. Sifat-sifat dan parameter proses injeksi untuk rynite PET 545 NC010

Rynite® 545 NC010 is a 45% glass reinforced modified polyethylene terephthalate resin.

Processing/Physical Characteristics	Value	Unit	Test Standard
ASTM Data			
Mold Shrinkage, MD	0.0015	mm/mm	ASTM D 955
Mold Shrinkage, TD	0.0067	mm/mm	ASTM D 955
Density	1700	kg/m ³	ASTM D 792
Water Absorption, 24hr	0.04	%	ASTM D 570
Rheological properties			
ISO Data			
Melt volume-flow rate, MVR	2.5	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	280	°C	-
Load	2.16	kg	-
Molding shrinkage, parallel	0.2	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.8	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties			
ISO Data			
Tensile Modulus	15500	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	182	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	2	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus, 1h	15600	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus, 1000h	13300	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength, +23°C	60	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	40	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	11	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	11	kJ/m ²	ISO 179/1eA
ASTM Data			
Tensile Modulus	15513.2	MPa	ASTM D 638
Elongation at Break	2.1	%	ASTM D 638
Compressive Strength	235	MPa	ASTM D 695
Flexural Modulus	15168.4	MPa	ASTM D 790
Flexural Strength	283	MPa	ASTM D 790
Rockwell Hardness	R 120	-	ASTM D 785
Izod Impact notched, 1/8 in	0.112	kJ/m	ASTM D 256
Izod Impact notched, Low-Temperature	0.118	kJ/m	ASTM D 256
Temperature	-40	°C	-
Other properties			
ISO Data			
Water absorption	0.62	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.14	%	Sim. to ISO 62
Density	1690	kg/m ³	ISO 1183

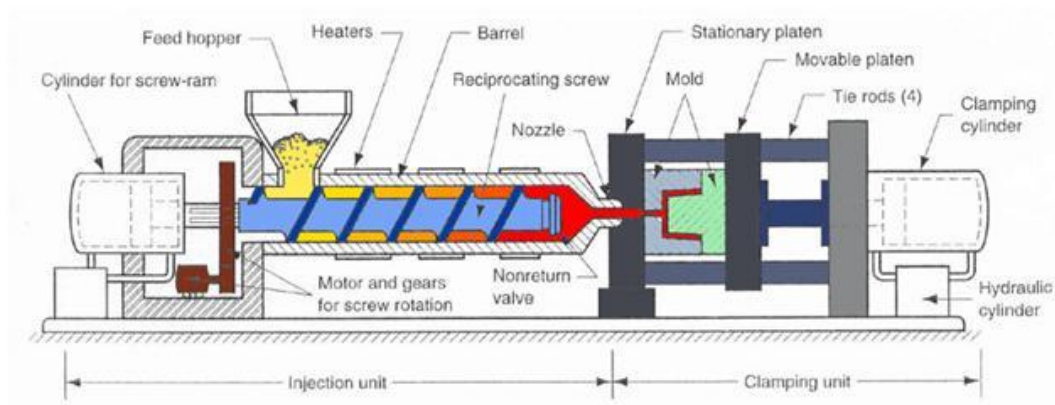
(Sumber: Dupont Engineering Polymers, 2016)

Penggunaan material PET diaplikasikan antara lain:

1. Botol minuman.
2. Toples makanan.

2.2.3. Injection Molding

Injection molding adalah metode dari pembentukan material termoplastik dimana material yang meleleh akibat panas dan gesekan didalam *barrel* diinjeksikan ke dalam cetakan kemudian didinginkan oleh air/oil sehingga produk mengeras. Secara umum pengertian *injection molding* adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik yang dipanaskan dan diinjeksikan kedalam cetakan. Pada mesin *injection molding* terdapat beberapa bagian utama yang berperan penting pada saat proses pembuatan produk plastik, adapun pada mesin *injection molding* di bagi menjadi tiga garis besar yaitu:



Gambar 2.2. *Injection molding*
(Sumber: www.sinotech.com)

1. *Clamping unit*

Clamping unit berfungsi untuk memegang dan mengatur gerakan dari mold unit, serta gerakan *ejector* saat melepas benda / produk dari *molding unit*, pada *clamping unit* bisa mengatur berapa panjang gerakan *mold* saat di buka dan berapa panjang *ejector* harus bergerak.

2. *Injection Unit*

Injection unit berfungsi melelehkan dan memasukkan material plastik ke dalam cetak.

3. *Mold Unit*

Mold Unit adalah bagian terpenting untuk mencetak produk plastik, bentuk benda/produk plastik sangat tergantung dari bentuk *mold*, karena

setelah material plastik mencair kemudian akan diinjeksikan ke dalam cetakan atau *mold*, dan dinginkan maka terbentuklah produk plastik sesuai dengan bentuk *mold*, ada berbagai tipe *mold*, di sesuaikan dengan bentuk benda yang akan dibuat.

2.2.4. Perancangan *Mold*

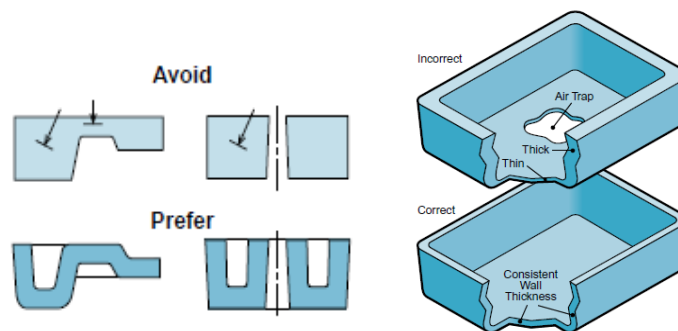
Mold plastik pada prinsipnya adalah suatu alat (*tool*) yang digunakan untuk membuat komponen-komponen dari material plastik dengan mesin injeksi plastik. Faktor yang paling berpengaruh dalam proses *injection molding* yaitu luas penampang, ketebalan produk, dimensi *mold base*, serta tuntutan ukuran (toleransi) yang sesuai dan pemilihan material. Ada beberapa penentuan perancangan cetakan injeksi sebelum dilakukan, yaitu:

1. Desain produk

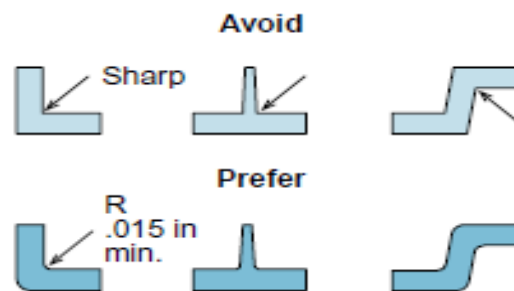
Dalam desain cetakan, ada beberapa aturan yang harus diperhatikan.

Aturan tersebut antara lain:

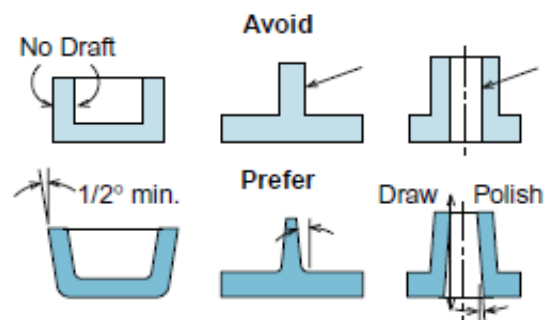
- a. Gunakan ketebalan dinding seragam di seluruh bagian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Tebal dinding yang seragam akan meminimalkan penyusutan, bengkok, tegangan sisa, air trap, dan meningkatkan efisiensi proses pengisian cetakan dan waktu siklus.
- b. Gunakan profil radius pada semua ujung produk, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dimensi radius sudut di dalam minimal satu kali ketebalan material.
- c. Gunakan draft angle pada produk, agar ketika proses pelepasan produk lebih mudah dan mengurangi bekas yang ada pada dinding produk, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.
- d. Gunakan penguat berupa *rib* untuk meningkatkan kekakuan pada bagian lentur, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Hal ini untuk menghindari penggunaan ketebalan berlebih pada bagian produk, sehingga dapat menghemat berat total, biaya material, dan biaya waktu siklus.



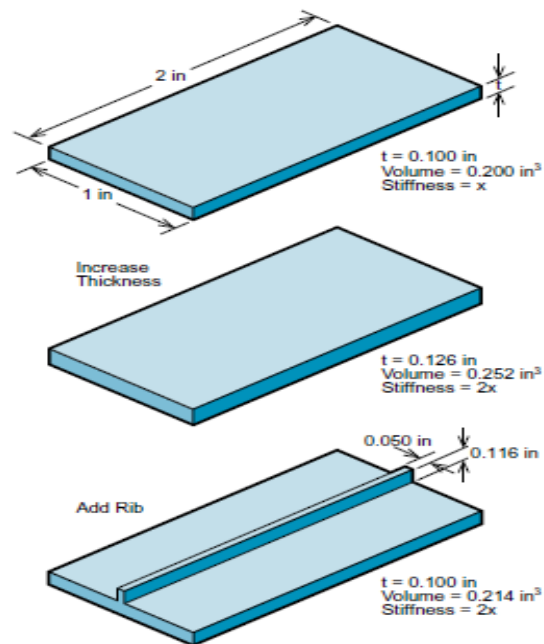
Gambar 2.3. Desain ketebalan dinding produk kurang baik dan lebih baik
(sumber: Bayer material science, 2000)



Gambar 2.4. Desain produk kurang baik dan lebih baik
(sumber: Bayer material science, 2000)



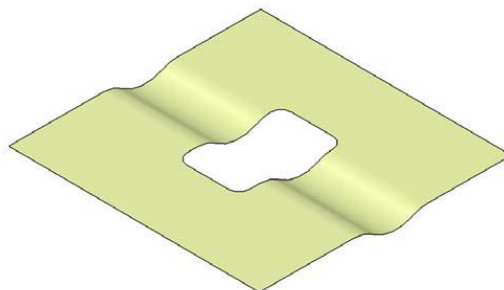
Gambar 2.5. Perbandingan sudut desain produk kurang baik dan lebih baik
(sumber: Bayer material science, 2000)



Gambar 2.6. Penambahan ketebalan pada desain produk dan pemberian *rib*
(sumber: Bayer material science, 2000)

2. Parting Line.

suatu bidang batas untuk memisahkan atau membagi antara cetakan *cavity* dan cetakan *core* menjadi setidaknya dua bagian yang bisa dilepas dan dipasang kembali. Adapun fungsi dari parting line ini adalah untuk merapatkan atau menutup bagian *molding* bergerak dengan bagian *molding* diam agar bisa membentuk sebuah rongga yang nantinya berfungsi untuk mencetak produk dari bahan plastik. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

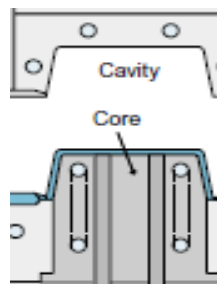


Gambar 2.7. *parting line*
(Sumber: Djunarso, 2011)

Penentuan *parting line* juga memperhatikan estetika atau keindahan produk, pada produk-produk tertentu seperti interior mobil, *casing* hp dll.

2.2.4.1. *Cavity dan Core*

Cetakan terbentuk dari 2 bagian yaitu *cavity* dan *core*. Dalam *injection molding*, keduanya merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan, karena gabungan antara *cavity* dan *core* inilah yang akan membentuk desain dari sebuah komponen atau produk. Gambar 2.8, menunjukkan antara *core* dan *cavity*.

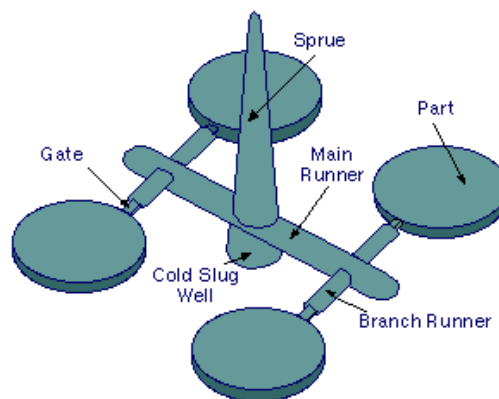


Gambar 2.8. Bagian cetakan *core* and *cavity*
(sumber: Bayer material science, 2000)

Dalam proses manufakturnya, *cavity* dan *core* dapat berupa satu kesatuan atau berupa bagian terpisah (ditanamkan/*inserting block*). Pemilihan proses *manufactur*-nya tergantung kepada faktor ekonomi dan desain dari benda yang akan buat.

2.2.4.2. *Runner System*

Runner System merupakan cairan material plastik yang dikeluarkan dari instalasi mesin injeksi mengalir ke dalam *cavity* melalui *sprue* (*sprue bush*), *runner*, dan *gate*. Plastik cair saat melewati *sprue* dan *runner* suhunya menurun sehingga menyebabkan viskositasnya (kekentalan) naik, tetapi oleh panas gesekan pada saat melewati *gate* kembali viskositasnya menurun dan mengisi ke dalam *cavity*. Pada gambar 2.9, menunjukkan beberapa fungsi dari *runner system*. (Nakazawa, 2010:50)



Gambar 2.9. *Runner system*

(Sumber: Sutriyono. *Simple injection molding*. 2012)

1. *Sprue*

Sprue merupakan jalan yang digunakan untuk mengalirkan cairan plastik kedalam *mold* dari *nozzle*. Pada *mold*, *sprue bush* merupakan komponen terpisah.

2. *Runner*

Runner berperan sebagai jalan yang mengarahkan plastik cair masuk ke dalam *cavity* atau saluran yang digunakan untuk mendistribusikan cairan material ke dalam masing-masing area produk.

3. *Gate*

Gate merupakan pintu masuk untuk mengisikan plastik cair ke dalam *cavity* atau area produk.

Perhitungan jarak produk terhadap *sprue*, dapat dihitung dengan *ratio flow path* terhadap *wall thickness*, seperti pada persamaan

$$L_p = \frac{L_1 + L_2}{2} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana, L_p = *flow length* (mm)

L_1 = jarak *centering sprue* dengan *runner* (mm)

L_2 = jarak *gate* dengan ujung produk (mm)

Adapun nilai rasio *flow path wall thickness* di setiap bahan plastik pada cetakan injeksi bisa dilihat di gambar 2.10.

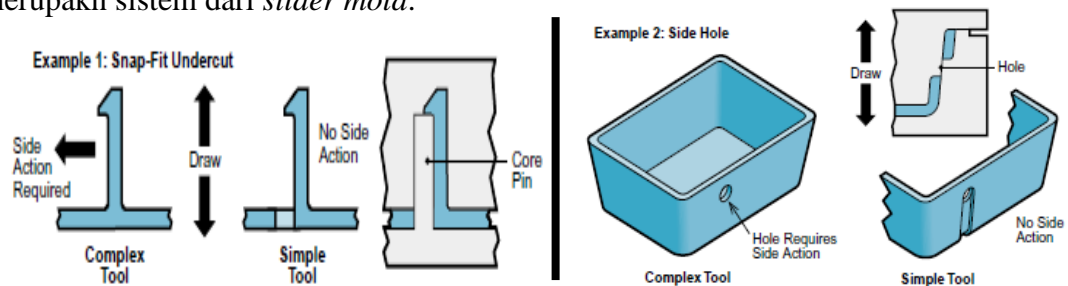
<i>Polymer</i>	<i>Flow path ratio</i>
ABS	80–150
Acrylic [poly(methyl methacrylate)]	100–150
Nylon 6	140–340
Nylon 66	180–350
Polyacetals	100–250
Poly(butylene terephthalate)	160–200
Polycarbonates	30–70
Polyether ether ketone	up to 200
Polyethylene (HDPE)	150–200
Polyethylene (LDPE)	200–300
Poly(ethylene terephthalate)	up to 350
Poly(phenylene sulphide)	150
Polypropylene	150–350
Polystyrene	150
Polystyrene (toughened)	130
Polysulphones	30–150
Poly(vinyl chloride) (plasticised)	up to 180
Poly(vinyl chloride) (unplasticised)	60
Styrene-acrylonitrile	140

Gambar 2.10. Nilai rasio *flow path*
(Sumber: Brydson, 1999)

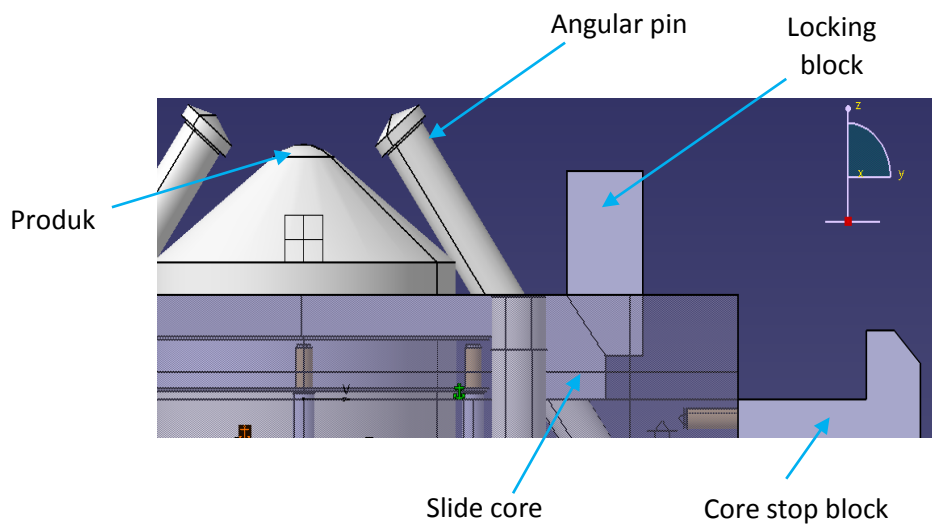
Rasio ini untuk menentukan berapa gate yang dibutuhkan, dan rasio produk akan terkait dengan ratio standar pada bahan plastik, jika tidak terpenuhi dengan *side gate* maka dapat dipilih dengan *multi gate* atau *sprue gate*. apabila rasio produk $>$ dari rasio bahan plastik sebaiknya menggunakan *multi gate* untuk mempertahankan menggunakan material plastik tersebut atau lebih baiknya mengganti bahan material plastik.

2.2.4.3. Sistem *slider*

Slider mold adalah konstruksi sebuah cetakan dimana produk yang dibuat mempunyai *undercut*, tonjolan, dan lubang. Pada gambar 2.11, menunjukkan contoh produk yang memerlukan pembuatan sistem *slider* dan pada gambar 2.12, merupakan sistem dari *slider mold*.



Gambar 2.11. Contoh produk *undercut*
(sumber: Bayer material science, 2000)



Gambar 2.12. Sistem slider

1. *Slide core*

Bagian yang berfungsi untuk menggerakkan bagian dalam *mold* pada waktu *opening mold* dan *closing mold* . *Slide core* berperan dalam menangani produk *undercut* dan berhubungan langsung dengan pergerakan *opening mold* dan *closing mold* , seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.

2. *Angular pin*

Bagian yang berfungsi menggerakkan *slide core* dan membatasi gerakan *slide core* , sudut kemiringan minimal *angular pin* adalah 13-28°. Untuk mengetahui panjang *angular pin* , dapat menggunakan persamaan (2.2).

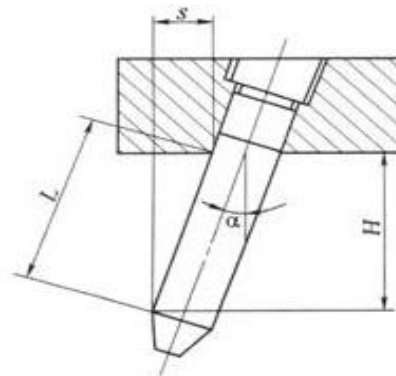
Panjang *angular pin* :

$$L = \frac{s}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana, L = Panjang

s = Jarak *slider block* bebas

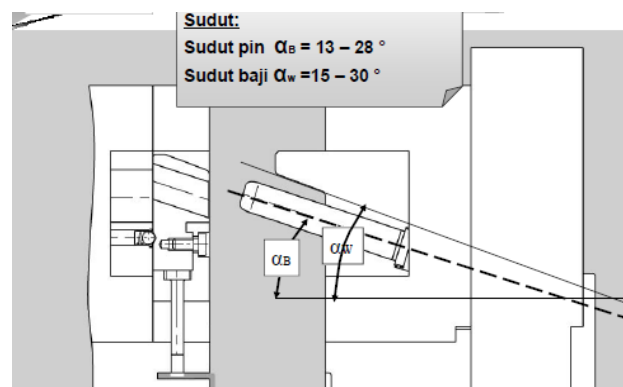
$\sin \alpha$ = Sudut kemiringan *angular pin* (mm)



Gambar 2.13. Panjang *angular pin*
(Sumber: www.myplasticmold.com)

3. *Locking block*

Bagian yang berfungsi menahan *slide core* dari tekanan injeksi supaya tidak mundur. Besar sudut pada *locking block* 15-30°, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Sudut kemiringan *locking block* dan *angular pin*.
(Sumber: Budiyanoro, 2009)

Locking block harus kuat menahan *slide core* ketika saat proses injeksi berlangsung, perhitungan deformasi maksimal dan tegangan maksimal yang terjadi pada *locking block* dapat dihitung dengan persamaan (2.3 dan 2.4)

$$Y_{\max} = -\left(\frac{WL^4}{8EI}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana, w = Beban terdistribusi (N/mm)
 L = Panjang (mm)
 E = Modulus elastisitas
 I = Momen inersia
 Y max = Deformasi maksimal (mm)

$$\sigma_{max} = \frac{wL^2c}{2I} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana, w = Beban terdistribusi
 L = Panjang (mm)
 c = Jarak center dari penampang
 I = Momen inertia
 σ_{max} = Tegangan maksimal (N/mm)

4. *Core stop block*

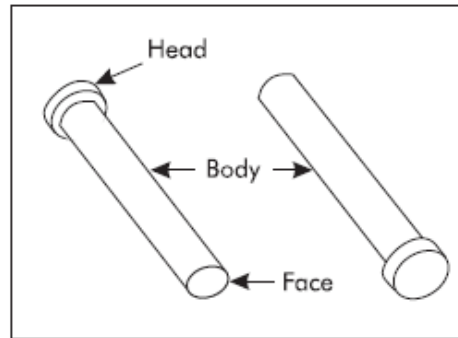
Bagian yang berfungsi menahan/batas *slide core* agar tidak mundur berlebih ketika *opening mold*.

2.2.4.4. **Sistem Ejector**

Sistem *ejector* adalah sebuah sistem yang berfungsi mengeluarkan dengan cara mendorong produk dari dalam cetakan. ada beberapa metode yang lebih umum digunakan pada bagian ini seperti: *standard ejection design*, dan *stripper ejector*. Berikut penjelasannya.

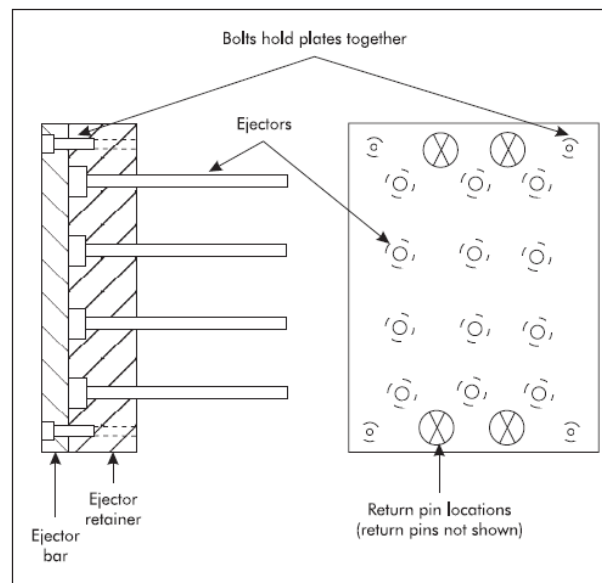
1. *Standard ejection design*

Pada desain standar bagian cetakan dilepaskan dengan menggunakan satu set "pin" ejektor, bentuk yang paling umum adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. *Pin gate*
(sumber: Bryce, 1998)

Untuk membuat *pin ejector* agar tidak menembus kedalam produk yang akan dilakukan proses ejsksi, permukaan pin ejector harus rata kemudian tekanan ejsksi harus dibagikan pada area yang luas, ini dilakukan untuk meminimalkan distorsi pada bagian plastik selama proses ejsksi. *Pin ejector* dipasang pada sebuah *ejector plate* kemudian *ejector back plate* yang mendorong *ejector plate*, (Bryce, 1998: 82-83) ketika proses ejsksi berlangsung seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16.

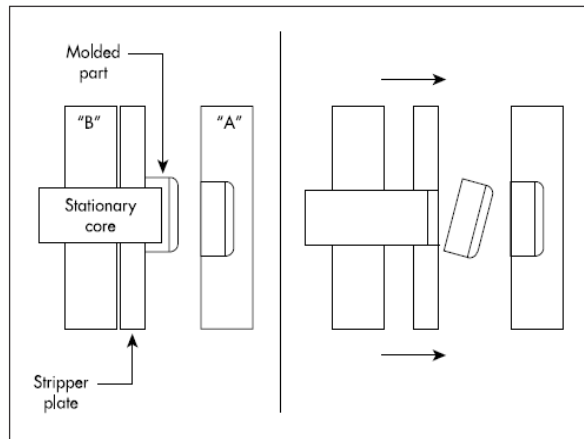


Gambar 2.16. *Unit standard ejection*
(sumber: Bryce, 1998)

2. *Stripper ejector systems*

Ketika ada situasi dimana sistem pin ejsktor standar tidak dapat dimanfaatkan karena pinnya sangat kecil sehingga bisa merusak bagian

cetakannya, atau hanya memiliki tempat terbatas untuk menempatkan pin ejektor standar. Pada saat seperti ini, soulsi menggunakan *stripper ejector systems* baik digunakan untuk memecahkan masalah. Ada dua versi *stripper ejector systems* yaitu berbentuk *sleeve* dan *plate*. (Bryce, 1998: 85-86) Ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.17. *Stripper plate ejection*
(sumber: Bryce, 1998)

Yang bertugas mengeluarkan produk adalah *plate stripper* berbeda dengan ejeksi setandar yang mngeluarkan produk adalah *pin ejector*.

Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung beban kritis yang dapat diterima oleh *ejector pin* seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.5).

$$F = \frac{m\pi^2 EI}{L^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana, F = Beban *ejector* (N)

m = Konstanta tergantung dari ujung ikatan *ejector*

E = E modulus baja (Gpa)

I = Momen inersia

L = Panjang *ejector* (mm)

Gaya yang diperlukan *ejector* untuk mendorong produk keluar, dapat dihitung dengan persamaan (2.6).

$$p = \frac{S_1 \times E \times A \times \mu}{\left(\frac{d}{2t} - \frac{d}{4t}\right) \times \gamma} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana, p = Gaya *ejector* yang diperlukan (N)

A = Luas kontak permukaan produk dengan permukaan *mold* (mm^2)

E = E modulus plastik (Gpa)

μ = koefisien gesek plastik dengan baja

t = Tebal produk (mm)

d = Keliling dari *cavity*

γ = *Poisson ratio* plastik

2.2.5. *Clamping force*

Clamping force merupakan gaya yang dibutuhkan mesin untuk menahan kedua bagian cetakan agar tidak membuka pada saat proses mesin injeksi berlangsung. Besarnya gaya pembentukan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh tekanan spesifik material, tebal dinding produk dan proyeksi isi (produk, *runner*, *sprue* dan *gate*) dan posisi *gate* terhadap sisi terjauh aliran yang dicapai dalam pembentukan produk. Besar *clamping force* yang dibutuhkan untuk menahan cetakan, seperti persamaan (2.8).

Perhitungan luas proyeksi:

$$A_{pl} = \pi \times r^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana, A_{pl} = Luas proyeksi (cm^3)

π = phi (22/7 atau 3,14)

r^2 = Jari-jari alas

Perhitungan *clamping force*

$$F_c = P_{spec} \times A_{p \text{ tot}} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana, P_{spec} = spesifik internal pressure (kg/cm^2)

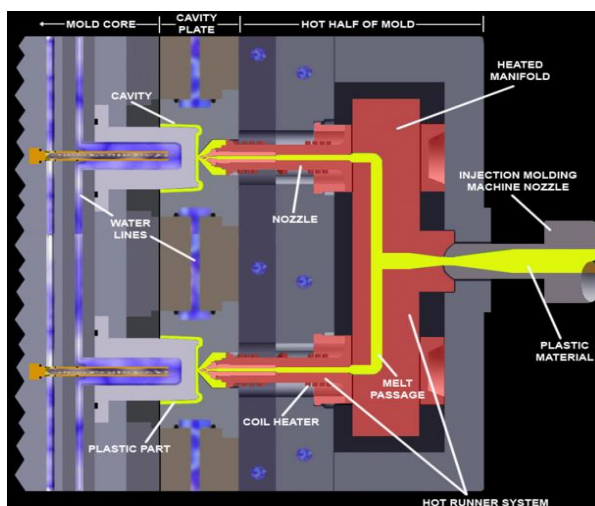
$A_{p \text{ tot}}$ = Total luas proyeksi (cm^2)

F_c = *Clamping force* (kg)

2.2.6. *Hot Runner*

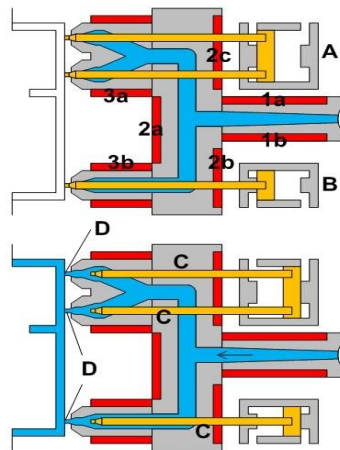
Hot runner pada proses *injection molding* fungsinya memelihara panas plastik yang dicairkan agar dapat dipindahkan kedalam cetakan ini digunakan umumnya dengan jumlah material yang besar.

1. Karakteristik *hot runner* yaitu: sama sekali tidak timbul *runner* dan yang dikeluarkan hanyalah produk saja, *sprue* maupun *runner* lebur oleh pemanas (*heater*) yang memudahkan dalam memasukan material cair ke dalam *modal*, serta cocok untuk otomatisasi dan memiliki 'keuntungan lebih' dalam memproduksi barang dengan jumlah besar.
2. Kelemahan dari *hot runner* yaitu: konstruksinya rumit, dan biaya pembuatannya sangat mahal, serta penggantian raw material memerlukan waktu yang lama. Pada gambar 2.18, merupakan sistem dari *hot runner*. (Nakazawa, 2010: 23)



Gambar 2.18. *Hot runner system*
(Sumber: wijaya, 2009)

Mold 2 Pelat memiliki keunggulan *Mold Open* yang lebih pendek dibandingkan dengan *Mold 3 Pelat*. Disamping juga pemanfaatan kapasitas mesin agar lebih maksimal. Untuk mendapatkan Produk yang terpisah dari *Runner* harus mengaplikasikan *Mold 3 Pelat*, tapi sebenarnya bisa juga dengan *Mold 2 Pelat* yang mengeluarkan produk dengan tanpa disertai *Runner*, tentu saja dengan aplikasi Sistem *Hot Runner*. Pada gambar 2.19, merupakan bagian-bagian dari Sistem *Hot Runner*, keterangan, dan cara kerjanya.

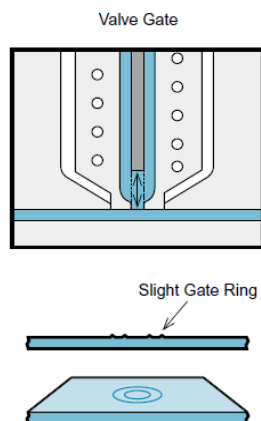


Gambar 2.19. Sistem dari *hot runner system*
(Sumber: wijaya, 2009)

1. 1a dan 1b adalah *Sprue Heater*. Sebenarnya bentuk *Heater* ini melingkar mengikuti bentuk silindris dari *Sprue* dan disini juga terpasang *Thermocouple* yang berfungsi mendeteksi besaran suhu sebenarnya (*Actual*) dan menunjukkan angka suhu pada *Hot Runner Controller Box* secara digital.
2. 2a, 2b, dan 2c adalah *Manifold Heater*. Bentuk *Heater* ini bisa berbentuk Pelat, bisa juga berbentuk *Stick*. Bentuk *Stick* ini bisa fleksibel mengikuti bentuk dan ukuran *Manifold* itu sendiri, tentu dengan *treatment* khusus untuk Manufaktur Sistem *Hot Runner*.
3. 3a dan 3b adalah *Gate Heater*. Sama dengan *Sprue Heater* yang bentuknya melingkar seperti pegas mengikuti bentuk Silindris dari *Gate* itu sendiri. Juga dengan dilengkapi *Thermocouple* sebagai sensor panas.
4. A dan B adalah Silinder. Silinder ini bisa menggunakan media Oli (*Hydraulic System*) atau bisa juga dengan media Angin (*Pneumatic System*). Silinder ini berfungsi untuk menggerakkan *Pin Gate* (C) maju sebagai *Gate Close*, dan mundur sebagai *Gate Open*. Dan (D) adalah *Gate* tersebut.

Pada saat *Mold Open*, *Pin Gate* berada pada posisi maju sehingga menutupi lubang *Gate*. Ketika *Mold Clamping* dan sesaat sebelum *Injection Start*, posisi *Pin Gate* bergerak mundur, sehingga lubang *Gate* terbuka, maka material plastik dapat melaluinya (warna biru) dan memenuhi bentuk cetakan Produk di dalam *Mold*.

Setelah proses *holding*, seketika itu pula posisi *Pin Gate* kembali maju untuk menutup lubang *Gate*. Maka Hasilnya hanya Produk saja yang keluar dari *Mold*. (wijaya: 2009). Pada gambar 2.20, merupakan contoh *valve gate*.



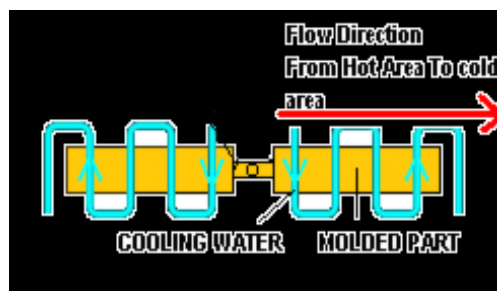
Gambar 2.20. *Valve gate*
(sumber: Bayer material science, 2000)

2.2.7. Pendingin (*Cooling*) *Mold*

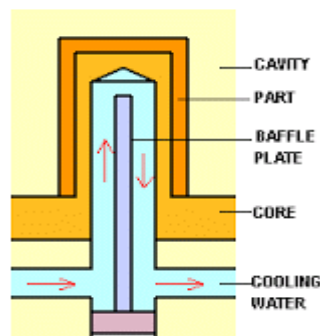
Temperatur *mold* sangat berpengaruh pada proses produksi. Misalnya, jika temperatur *mold* terlalu rendah , maka aliran cairan plastik ke runner maupun *gate* tidak lancar, yang mengakibatkan tidak bisa dilakukannya pengisian ke *cavity* . Sebaliknya, jika temperatur *mold* terlalu tinggi, maka pendinginan-pengerasan cairan plastik akan memerlukan waktu yang lama dan menyebabkan *cycle time* menjadi panjang. Jadi dapat disimpulkan ada 3 faktor utama dari alasan pengontrolan temperatur di dalam cetakan, yaitu:

1. Bisa memperpendek pendinginan-pengerasan cairan plastik dan memperpendek *cycle time* .
2. Bisa memperbaiki produktivitas, serta kondisi permukaan, kepresisian, dan lain sebagainya dari hasil produksi serta menjamin kualitas dari produk yang dibuat (bentuk & dimensi).
3. Mencegah terjadinya *warpage* dan *shrinkage* akibat dari perbedaan ketebalan produk yg dibentuk sehingga timbul perbedaan tegangan dalam (*internal stress*) pada produk.

Lubang *cooling* dibuat seefisien mungkin dan disesuaikan dengan aliran air pendingin. Prinsip dasar pendinginan adalah dari daerah yang panas (dekat *gate*) ke daerah yang dingin (jauh dari *gate*). Pada gambar 2.21, menunjukkan daerah yg panas (dekat *gate*) didinginkan terlebih dahulu, serta pada gambar 2.22 merupakan pendinginan pada *core insert*, sehingga pendinginannya akan merata.



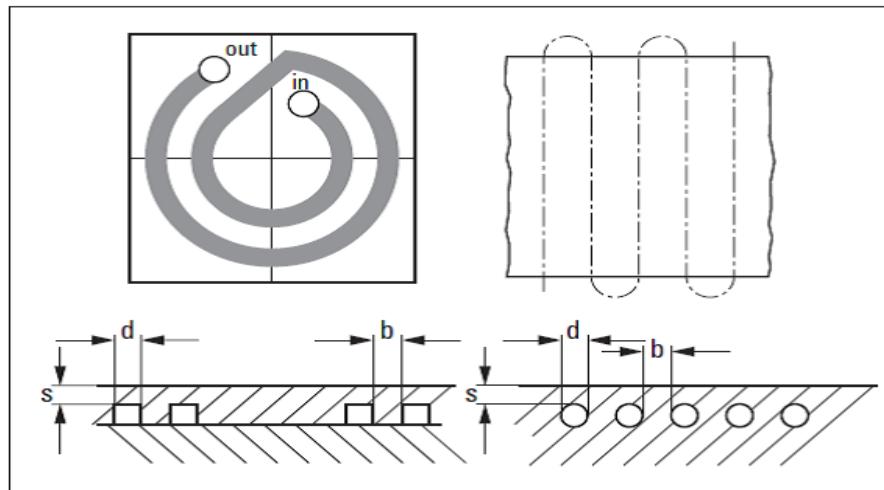
Gambar 2.21. Prinsip dasar pendinginan
(Sumber: Nakazawa, 2010)



Gambar 2.22. Pendinginan *core insert* (*baffle*)
(Sumber: Nakazawa, 2010)

3. Dalam lubang pendingin *core* disisipkan semacam plat pemisah yang berfungsi seperti pengatur aliran arus air pendingin. Keseluruhan *body core* dibuat dari material *Berilium copper* sehingga dapat berfungsi sebagai pendingin. (Nakazawa, 2010: 74).

Rekomendasi dasar pendinginan saat mencetak resin termoplastik dupont, area cetakan datar harus disesuaikan dengan saluran pendinginan spiral atau saluran bor. Diameter yang direkomendasikan dari produsen dupont dan jarak perkiraanya dari permukaan cetakan ditunjukkan pada gambar 2.23.



Wall thickness of the molding	Channel diameter or width (d)	Distance (s)	Channel Spacing (b)
< 2 mm (0.08 in)	8 mm (0.32 in)	4 mm (0.16 in)	~ 1d
< 4 mm (0.16 in)	10 mm (0.39 in)	7 mm (0.28 in)	~ 1d
< 6 mm (0.24 in)	12 mm (0.47 in)	9 mm (0.35 in)	~ 1d

Gambar 2.23. Rekomendasi dasar pendinginan
(Sumber: Dupont Engineering Polymers, 2016)

2.2.8. Matrik Perbedaan *Mold*

Mold merupakan bagian terpenting untuk pembuatan produk plastik pada cetakan injeksi, ada beberapa perbedaan *mold* yang ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Matrik perbedaan *mold*

2 <i>Mold Plate</i>	3 <i>Mold Plate</i>	<i>Slider Mold</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Terdapat 2 plat atau kelompok plat yang terpisah, satu bagian memiliki <i>core</i>, bagian lain memiliki <i>cavity</i>. - PL (<i>Parting Line</i>) <i>mold</i> hanya ada satu. - Menggunakan sistem <i>cold runner dan hot runner</i>. - Tidak cocok untuk otomatisasi dan penghematan tenaga kerja. - Konstruksi sederhana dan biaya pembuatannya murah. - Kelemahannya penggunaan <i>side gate</i> dan <i>direct gate</i> memerlukan penanganan lanjutan untuk <i>runner</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Terdiri atas 3 plat: <i>stationary (runner plate)</i>, <i>middle (cavity plate)</i>, dan <i>movable (core)</i>. - <i>Part</i> dan <i>runner</i> akan terpisah dalam bukaan plat. - Sesuai untuk <i>central gating</i>. - Tidak perlu pemotongan <i>runner</i>, sesuai untuk otomatisasi. - Menggunakan sistem <i>cold runner</i>. - Digunakan untuk produksi dengan volume besar. - Cocok untuk otomatisasi dan penghematan tenaga kerja. - Konstruksi rumit dan biaya pembuatan mahal. - Kelemahan buka tutup <i>mold</i> bising. 	<ul style="list-style-type: none"> - Terdiri 2 plat kelompok plat yang terpisah, satu bagian memiliki <i>core</i>, bagian lain memiliki <i>cavity</i>. - Konstruksi yang memerlukan komponen tambahan yaitu <i>slider</i>. - Menggunakan sistem <i>cold runner dan hot runner</i>. - Khusus produk yang dihasilkan mempunyai <i>undercut</i>, tonjolan, dan lubang. - Digunakan untuk produksi dengan volume besar. - Cocok untuk otomatisasi dan penghematan tenaga kerja. - Konstruksi rumit dan biaya pembuatan mahal.

2.2.9. Penentuan Material *Mold*

Menentukan suatu material untuk pembuatan konstruksi *mold* itu sangat penting, sehingga adapun standar penentuan material yang akan digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Sifat tahan aus

Pertimbangannya adalah sejauh mana mampu mempertahankan usia penggunaan *mold (lifetime)* dan ukuran produk berdasarkan jumlah maupun kepresisian produk dsb.

2. Sifat *polishing*

Sejauh mana *polishing mold* yang perlu dilakukan untuk *finishing* bagian luar produk.

3. Sifat *cutting* proses

Menggunakan material keras untuk mempermudah proses *machining mold* maupun *mold part*.

4. Sifat *heat treatment*

Material yang digunakan harus memiliki sifat keseragaman kontur, waktu dilakukannya *heat treatment*.

5. Kekuatan

Waktu dilakukan produksi, material *mold* memiliki ketahanan terhadap *tensile stress*, *compression stress* dan *bend stress*.

6. Thermal *conductivity*

Waktu pendinginan, menggunakan material *mold* yang mudah dalam pengontrolan temperatur.

7. *Delivery*, harga

Menggunakan material yang murah dipasaran dan mendapatkan kepastian pengiriman (Nakazawa, 2010: 74)

2.2.10. *Preform Stick T15*

Preform Stick T15 merupakan produk plastik *preform* atau bentuk awal dari kemasan makanan (toples) dengan panjang *stick* 15 cm. Produk plastik ini dibuat unik, karena harus dibuat bentuk awal terlebih dahulu sebelum menjadi toples.

Material plastik yang digunakan untuk pembuatan *preform* adalah *polyethylene terephthalate* (PET) yang mempunyai sifat kekuatan (*strength*)-nya tinggi, kaku (*stiffness*), dimensinya stabil, tahan bahan kimia, dan panas. PET merupakan material *higroskopis*, yang berarti bahwa material ini menyerap air dari sekelilingnya. Namun, ketika material/bahan PET ini “lembab” kemudian dipanaskan, air akan menghidrolis PET (penurunan ketahanan). Karena bahan jenis PET ini menyerap air, maka perlu di *drying* selama ± 4 jam dengan suhu 165°C - 175°C , tujuannya untuk menghilangkan kelembaban pada material tersebut. Pada gambar 2.24, merupakan produk plastik *preform* kemasan makanan (toples).



Gambar 2.24. *Preform Stick T15*

Produk *preform* ini merupakan produk yang mempunyai *undercut* atau tonjolan pada sisi ulir maka pada cetakan harus didukung oleh konstruksi *slider mold*. Sistem *slider* merupakan bagian yang tidak dapat dibentuk dengan hanya *core* dan *cavity*. Berbagai bentuk produk yang dibuat ditentukan di sebuah *mold*.