

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perancangan cetakan dengan sistem *Three mold plate* telah digunakan dalam dunia industri berbagai produk yang berbeda dengan pertimbangan perhitungan desain yang baik. Beberapa faktor perancangan yang harus dipertimbangkan agar mendapat hasil yang lebih efisien pada sistem *three mold plate* yaitu, metode penggunaan *runner* pada sistem *three mold plate* dengan jenis *runner* trapezoid dapat menghemat waktu pada saat pengisian material plastik kedalam cetakan (Mufid, 2017).

Untuk menentukan *gate location* terbaik agar memaksimalkan pengisian dan menyeimbangkan dengan meminimalkan waktu pengisian maka harus disimulasikan terlebih dahulu sebelum menerapkan pada mesin injeksi yang sesungguhnya. *Filling time* dapat diatur pada *family mold* agar seimbang menggunakan *runner balance*. Aplikasi *Autodesk Moldflow Plastic Insight* dapat menganalisa *runner balance* dan *filling time* secara akurat (Baesso, 2017).

Ukuran *runner* dapat dioptimalkan dengan analisa *runner balance*. Untuk ukuran *gate* dapat dioptimalkan agar dapat memastikan analisa *wrap* dan *cooling*. *Runner balance* dapat digunakan untuk meminimalisir cacat produk dan *air trap* pada produk. Ukuran diameter *runner balance* dapat mempengaruhi *filling time* pada proses injeksi. Posisi *gate* juga dapat mempengaruhi *filling time*. Posisi *gate* pada *area best gate location* sangat dianjurkan (Kuang, 2013).

Penempatan *gate* sangat berpengaruh pada penampilan produk, sehingga penempatan *gate* harus diletakkan didaerah produk yang tersembunyi. Mempertimbangkan tata letak *gate* harus diperhatikan karna akan mempengaruhi bentuk fisik produk (Budiyantoro, 2016).

Komponen *pin gate* dibuat untuk memudahkan produk lepas dengan *gate* dan *runner*, sehingga diameter *gate* dibuat kecil. *Pin gate* terletak pada sisi

produk yang tidak terlihat dan dibuat untuk mengurangi tegangan geser (Ahmed, 2017).

Material plastic *Polyethylene* adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih mempunyai titik leleh bervariasi antara 110 °C – 137 °C. Polimer *polyethylene* merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit. Selain murah dan mempunyai kelenturan yang tinggi PE mempunyai karakteristik yang elastis, tahan benturan, tidak berbau dan higienis (Yuniari, (2011).

Temperatur *tooling*, *Holding press*, dan *Cooling time* dapat mempengaruhi terjadinya *warpage* pada produk berbahan plastik yang akan menimbulkan bentuk produk menjadi tidak sesuai. *Cooling time* yang kurang efisien akan mengakibatkan kerugian waktu produksi dan tidak menutup kemungkinan terdapat cacat produk. Cacat produk dapat dicegah dengan pengoptimalan dan memperhatikan parameter proses *cooling time* (Arif, 2015).

Pemilihan parameter proses dapat mempengaruhi cacat produk. Parameter tersebut adalah tekanan injeksi dan pengaturan suhu. Semakin tinggi tekanan injeksi maka dapat mengurangi cacat *short shot* pada produk plastik. Parameter dapat ditentukan oleh desainer dengan acuan yang sudah ada agar cacat pada produk tidak terjadi. Parameter tersebut dapat diketahui melalui standar acuan atau melalui hitungan secara manual (Ega, 2015).

Semakin tipis produk belum tentu baik untuk diproduksi karena tingkat pengisian masih belum menunjukkan suatu hasil yang bagus, tingkat pengisian *modal* baru dapat diterima pada produk dengan ketebalan 1,25 mm atau lebih. Untuk prediksi kualitas yang mulai dapat diterima yaitu untuk produk dengan ketebalan 1,25 mm Pada ketebalan produk 1,75 mm, produk terjadi *weld lines* dan *sink mark* (Sugondo, 2008).

Pemilihan material *modal* dilakukan untuk menghitung kontruksi yang menerima perlakuan berbeda sesuai dengan sistem kerja *modal*. Penentuan material plat dan komponen harus mengacu pada *modal basic design textbook* dengan rujukan dari Futaba dan Misumi sebagai produsen pembuatan komponen cetakan injeksi (Ni'am, 2017).

Pemilihan *layout cooling* untuk produk berbentuk *cup* dianjurkan untuk menggunakan *baffle* atau *bubbler*. Pemilihan *layout cooling* tersebut bertujuan agar meminimalisir cacat produk dan pemilihan *layout cooling* juga akan berpengaruh pada waktu pendinginan produk serta waktu saat proses pembuatan produk (Setiawan, 2018).

Memperhatikan suhu pada *core* yang terdapat *layout cooling* merupakan hal yang tidak boleh terlewatkan dalam mendesain cetakan plastik. Tanpa *layout cooling* cetakan tidak dapat bekerja dengan semestinya. Jika *layout cooling* dipertimbangkan dengan baik dan benar, maka cacat *short shot* dapat diatasi atau dihilangkan (Anindita, 2018).

Penggunaan pendinginan udara akan mengakibatkan panas yang dapat dipindahkan nilainya sangat kecil, sehingga berdampak pada temperatur *mold* yang tidak konstan. Pendinginan menggunakan metode udara mengakibatkan suhu cetakan tidak merata dan akan berdampak pada besarnya *shrinkage* atau penyusutan. Selain pendinginan *mold*, faktor yang menyebabkan terjadinya *shrinkage* yaitu parameter proses *injection molding* dan jenis material plastik yang digunakan. Pendinginan yang baik antara media pendingin *cooling tower* dan udara yaitu dengan menggunakan pendingin air (Anwar, 2017).

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi pembuatan *core* dan *layout cooling* pada cetakan menjadi lebih mudah. Maka dari itu perancangan desain cetakan dibuat tidak menyerupai produk yang sudah ada.

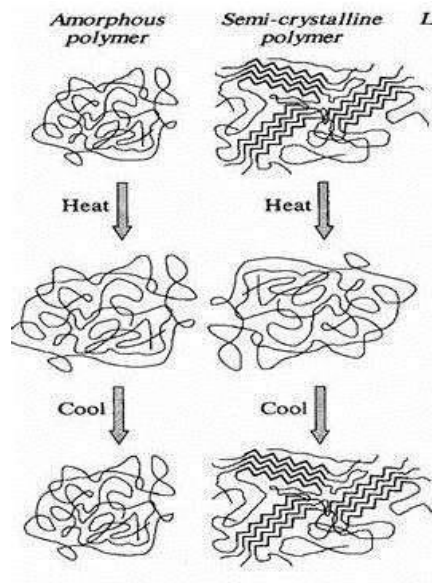
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Material Nonkristal dan Semikristal

Polimer dalam kondisi solid terdapat struktur nonkristal dan semikristal, istilah semikristal digunakan karena kondisi kristal tidak dapat tercapai oleh polimer jika tidak ada bagian nonkristal yang mengikat bagian kristal. Bahan polimer semikristal mengandung struktur kristal berbeda, kandungan kristal pada presentase disebut derajat kristalis (*degree of crystallinity*). Ada beberapa variasi pada derajat kristal, yaitu dari daerah nonkristal yang lebih besar mendekati 95% kristal, berbeda dengan metal yang mengandung 100% kristal, atau keramik yang dapat mengandung 100% kristal atau 100% nonkristal.

Derajat kristal dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan pada proses pembekuan. Pada kondisi awal pembentukan kristal berbentuk cair, struktur molekul masih tampak acak. Waktu pendinginan pada bagian kristal akan lebih cepat dan teratur oleh bagian kristal lain yang terikat struktur nonkristal. Polimer dengan struktur nonkristal akan terlihat transparan secara fisik dan dalam pemrosesan lebih mudah. Sedangkan polimer semikristal terlihat buram karena kandungan kristal yang menutupi cahaya. Kandungan struktur kristal dapat memberi kekuatan, kekakuan, dan resistensi terhadap kondisi luar.

Kedua jenis material polimer tersebut akan mempunyai struktur yang sama pada saat dipanaskan, karena polimer nonkristal maupun semikristal jika dipanaskan akan mengalami perenggangan. Saat kembali didinginkan, bagian kristal akan berlipat dan teratur kembali. Oleh karena itu dari besarnya penyusutan, polimer semikristal menyusut lebih besar jika dibanding polimer nonkristal. Perubahan akibat pemanasan dan pendinginan dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Struktur Polimer Dalam Kondisi Cair dan Solid (Budiyantoro, 2017).

Tabel di bawah menyimpulkan bahwa struktur polimer sangat berpengaruh pada sifat fisik, penampilan, maupun perubahan karena pengaruh panas. Beberapa jenis polimer yang dikelompokkan menurut sifat struktur tersebut, yaitu :

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

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat-sifat Bahan Dari Kedua Jenis Struktur Polimer (Budiyantoro, 2017).

Jenis Polimer	Nonkristal	Semikristal
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
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

2.2.2 Polyethylene (PE)

Polyethylene (PE) adalah material plastik yang digunakan untuk kepentingan komersial dan material plastik tersebut telah ada sejak tahun 1930. *Polyethylene* (PE) mempunyai sifat murah, kelenturan yang baik, dan pemrosesan yang termasuk mudah. Pengelompokan *Polyethylene* (PE) berdasarkan pada densitas dan viskositas pelelehan atau indeks pelelehan. Maka akan menghasilkan beberapa kategori pengelompokan, yaitu *High Density Polyethylene (HDPE)*, *Low Density Polyethylene (LDPE)*, *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)* dan *Cross Linked Polyethylene (CLPE)* (Ni'mah, dkk., 2009).

Polyethylene (PE) merupakan polimer yang sangat kristal dan mempunyai sifat kelenturan tinggi dengan energi permukaan rendah. *Polyethylene* adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih mempunyai titik leleh bervariasi antara 110 °C – 137 °C. Polimer *polyethilene* merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit (Yuniari, 2011).

Berikut tabel 2.2. Karakteristik *Polyethylene*.

Tabel 2.2 Karakteristik *Polyethylene* (PE) (Ni'mah dkk, 2009).

Sifat Mekanik dan Fisik	LDPE	HDPE
Berat Jenis (g/cm ³)	0,91 - 0,94	0,95 - 0,97
Titik Leleh (°C)	105 - 115	135
Kekerasan	44 - 48	55 - 70
Kapasitas Panas (kJ/kg ⁻¹ K ⁻¹)	1,916	1,916
Regangan (%)	15 - 600	12 - 700
Tegangan Tarik (N/mm ⁻²)	15,2 - 78,6	17,9 - 33,1
Modulus Tarik (N/mm ⁻²)	55,1 - 172	413 – 1034
Tegangan Impak	>16	0,8 – 14

2.2.3 *Low Density Polyethylene (LDPE)*

Low Density Polyethylene (LDPE) diproduksi untuk pertama kali oleh *Imperial Chemical Industries (ICI)* pada tahun 1933 menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi. *Low Density Polyethylene (LDPE)* dapat didaur ulang dan memiliki simbol daur ulang. *Low Density Polyethylene (LDPE)* mempunyai densitas antara 0.910 - 0.940 g/cm³. *Low Density Polyethylene (LDPE)* dapat bertahan pada temperatur 90 °C dalam waktu yang tidak terlalu lama (Setyowati, 2017).

Low Density Polyethylene (LDPE) memiliki banyak percabangan yang lebih banyak daripada HDPE sehingga molekulnya rendah. *Low Density Polyethylene (LDPE)* memiliki ketahanan terhadap bahan kimia diantaranya:

1. Tak ada kerusakan dari asam, basa, alkohol, dan *ester*.
2. Kerusakan kecil dari keton, *aldehida*, dan minyak tumbuhan.
3. Kerusakan menengah dari *hidrokarbon alifatik*, aromatik dan oksidator.

Low Density Polyethylene (LDPE) memiliki aplikasi yang cukup luas, terutama untuk pembungkus makanan dan minuman. Produk lainnya dari LDPE meliputi:

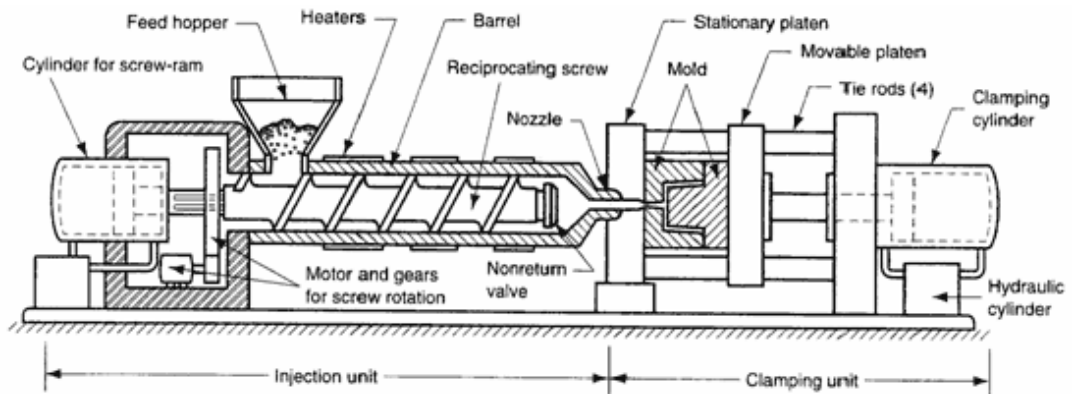
1. Wadah makanan dan wadah di laboratorium.
2. Permukaan anti korosi.
3. Bagian yang membutuhkan fleksibilitas.
4. Kantong plastik.
5. Bagian elektronik (Setyowati, 2017).

Tabel 2.3 Sifat Karakteristik LDPE (Budiyantoro, 2017).

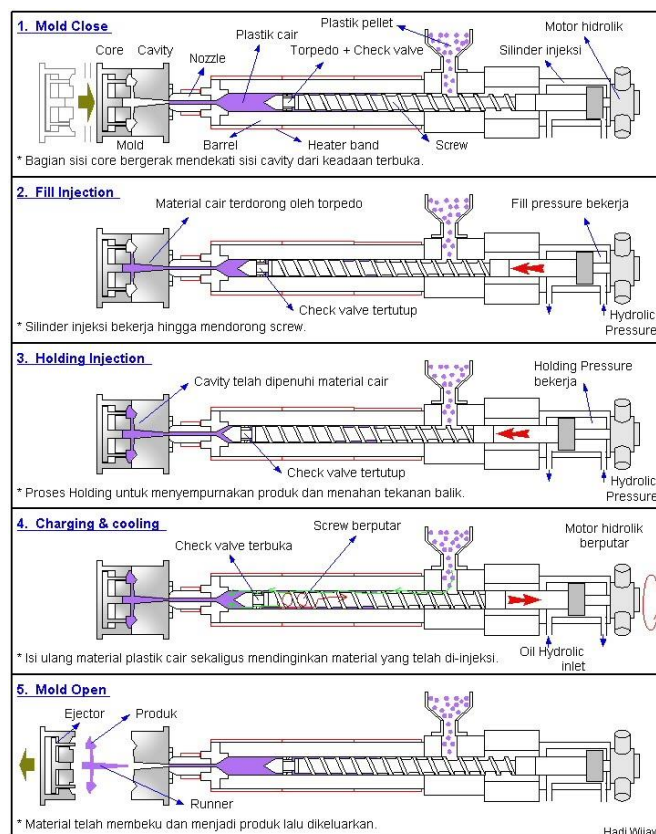
<i>Density (g/cm²)</i>	0,917 - 0,94
<i>Crystalline Melting Range (°C)</i>	105 - 110
<i>Shrinkage (%)</i>	2 - 4
<i>Glass Transition (°C)</i>	-110
<i>Tensile Strength (Mpa)</i>	10 -20
<i>Young Modulus (Gpa)</i>	0.13 - 0.3
<i>Injection Molding Temperature (°C)</i>	160 - 260
<i>Blown Film Extrusion Temperatur (°C)</i>	140 - 210
<i>Flat Film Extrusion Temperature (°C)</i>	200

2.2.4 Injection Molding

Injection molding adalah proses material plastik menjadi produk yang pada awalnya material plastik meleleh karena temperatur didalam *barell* yang disebabkan oleh gesekan, lalu material plastic berbentuk cair diinjeksikan ke dalam cetakan selanjutnya didinginkan oleh fluida pendingin sehingga produk menjadi keras. Pengertian *injection molding* adalah proses pembentukan benda dari material plastik yang dipanaskan dan diinjeksikan ke dalam cetakan. Cetakan plastik merupakan alat yang digunakan untuk membuat produk 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 yang sesuai dan pemilihan material (Mufid, 2017). Bagian mesin *injection molding* dapat dilihat pada gambar 2.2 dan siklus mesin injeksi pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Bagian Injection Molding (Budiyantoro, 2017).



Gambar 2.3 Siklus Kerja Mesin Injection Molding (Budiyantoro, 2017).

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa ketika *mold close* matrial plastik masuk ke dalam barrel dari *hopper* yang dibawa oleh *screw* kemudian matrial dipanaskan dan mendapat gesekan *screw* dengan dinding *barrel* sehingga plastik meleleh. Kemudian material yang telah

mencair diinjeksikan ke dalam cetakan dalam siklus *fill injection* masuk memenuhi rongga cetakan. Setelah itu material didalam *mold* mengalami siklus *holding injection* agar material tidak kembali ke dalam *barrel*.

Clamping force dan *injection pressure* yang menahan material plastic ketika siklus *holding injection*, kemudian proses pendinginan terjadi pada siklus *charging and cooling* pada siklus tersebut *mold* melakukan pendinginan produk melalui *cooling mold* dengan menggunakan cairan pendingin, lalu *screw* berjalan mundur mengambil material plastik untuk kembali dipanaskan didalam *barrel*. Setelah pendinginan selesai *mold* terbuka atau siklus *open mold* sehingga produk dikeluarkan melalui sistem *ejector* didalam *mold*. Untuk perhitungan *clamping force* :

$$F_i = \frac{A_p}{P_i} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Keterangan :

F_i = *Clamping Force* (ton).

A_p = Area Proyeksi (cm²).

P_i = Tekanan Internal (kg/cm²).

2.2.5 *Design Mold*

2.2.5.1 Produk

Produk yang akan dibuat harus mempunyai syarat cetak, kemudian perancang dapat menentukan konstruksi *mold* yang digunakan untuk cetakan produk dengan melihat bentuk produk, bentuk *parting line* dan *gate*. Sampel produk yang digunakan adalah *Flexyble Cup Seedling*. *Flexyble Cup Seedling* merupakan wadah untuk membudidayakan tanaman hias. *Flexyble Cup Seedling* digunakan untuk membudidayakan tanaman hias karena sifat dari produk ini lentur dan tahan lama. Selain itu *Flexyble Cup Seedling* didesain dengan memiliki lubang pada bagian bawah yang berguna untuk keluarnya air pada saat tanaman hias diberi air. Fungsi lubang tersebut dimaksudkan untuk mengetahui media tanam atau tanah telah basah secara merata ditunjukkan dengan air yang keluar dari lubang tersebut. Tidak hanya

tanaman hias berukuran kecil saja, tetapi tanaman hias atau bibit tanaman yang lebih besar juga dapat dibudidayakan dengan *Flexyble Cup Seedling*.

Flexyble Cup Seedling tidak selamanya digunakan dalam pembibitan atau pembudidayaan tanaman hias, karena jika usia tanaman telah memasuki usia yang ditentukan maka tanaman hias atau bibit tersebut harus dipindahkan dalam media yang lebih besar.

Ada beberapa ukuran produk yang ada dipasaran, Antara lain ukuran kecil, sedang dan besar. Berikut gambar beserta ukuran dimensi produk yang ada dipasaran :

a. Produk Ukuran Kecil

Produk *Flexyble Cup Seedling* ukuran kecil memiliki dimensi sebagai berikut :

- d1 (Diameter Bawah) : 35 mm.
- d2 (Diameter Atas) : 50 mm.
- d3 (Diameter Lubang) : 10 mm.
- T (Tinggi Produk) : 60 mm.
- t (Tebal Produk) : 0,5 mm.



Gambar 2.4 *Flexyble Cup Seedling* Ukuran Kecil.

b. Produk Ukuran Sedang

Produk *Flexyble Cup Seedling* ukuran sedang memiliki dimensi sebagai berikut :

- d1 (Diameter Bawah) : 50 mm.
- d2 (Diameter Atas) : 80 mm.

- d3 (Diameter Lubang) : 10 mm.
- T (Tinggi Produk) : 80 mm.
- t (Tebal Produk) : 0,5 mm.



Gambar 2.5 *Flexyble Cup Seedling* Ukuran Sedang.

c. Produk Ukuran Besar

Produk *Flexyble Cup Seedling* ukuran besar memiliki dimensi sebagai berikut :

- d1 (Diameter Bawah) : 74 mm.
- d2 (Diameter Atas) : 100 mm.
- d3 (Diameter Lubang) : 10 mm.
- T (Tinggi Produk) : 100 mm.
- t (Tebal Produk) : 0,5 mm.



Gambar 2.6 *Flexyble Cup Seedling* Ukuran Besar.

2.2.5.2 Penyusutan (*Shrinkage*)

Pada produk plastik terjadinya penyusutan, yang diakibatkan perubahan densitas temperatur proses ke temperatur ruang. Adapun rumus untuk menghitung nilai *shrinkage* atau penyusutan :

$$S = \frac{L_m - L_p}{L_m} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

Keterangan :

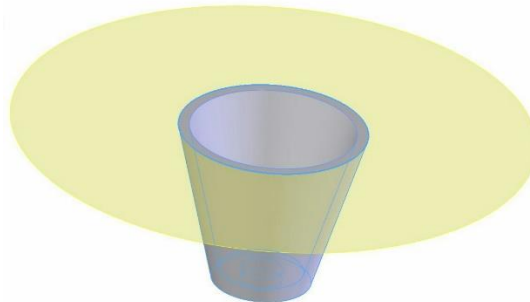
S = *Shrinkage* (%).

L_m = Dimensi produk sesaat setelah dicetak (mm).

L_p = Dimensi produk beberapa saat misal setelah 24 jam (mm).

2.2.5.3 Parting Line

Parting Line adalah bidang batas untuk memisahkan antara cetakan *cavity* dan *core* menjadi dua bagian yang dapat dilepas dan dipasang kembali. Fungsi dari *parting line* adalah merapatkan bagian *molding* bergerak dengan bagian *molding* diam, agar dapat membentuk rongga untuk mencetak produk dari bahan plastik. Dapat dilihat pada Gambar 2.7 sebagai berikut :



Gambar 2.7 *Parting Line* Produk.

2.2.5.4 Gate

Gate merupakan penghubung antara *runner* dengan *cavity*. Penempatan *gate* sangat berpengaruh pada penampilan produk, sehingga penempatan *gate* harus diletakkan di daerah produk yang tersembunyi (Budiyantoro 2016).

Untuk merancang *gate* perlu memperhatikan beberapa hal berikut :

1. Posisi *gate* pada bagian produk yang lebih tebal.
2. Letakkan *gate* pada bagian yang tidak terlihat pada fisik produk.
3. Hindarkan terjadinya cacat *weld line* pada daerah pembebanan.

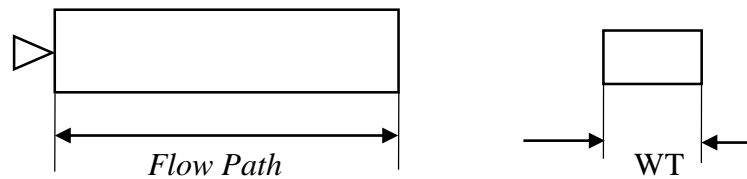
4. Pelepasan *gate* harus mudah.
5. Hindari dari udara terjebak.
6. Hindari cacat *jetting* dengan menempatkan *gate* yang baik dan benar.

Penentuan *gate* memperhatikan rasio aliran terhadap tebal dinding produk. Posisi *gate* dapat dilihat pada gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Contoh Letak Posisi *Gate*.

Untuk menentukan *gate* yang digunakan harus memperhatikan *ratio flow path* pada material yang digunakan berikut ini rumus menentukan *ratio flow path* :



Gambar 2.9 Keterangan *Flow Path*.

Rumus untuk mencari ratio $\frac{Flow Path}{WT}$ (Persamaan 2.3)

Keterangan :

Flow Path = Ratio jalur aliran.

WT = Tebal produk.

Jari-jari *Gate* = $r = \sqrt[3]{\frac{4Q}{3,14 \cdot share rate}}$ (Persamaan 2.4)

Keterangan :

Q = *Shot volume / Injection time* (cm³/s).

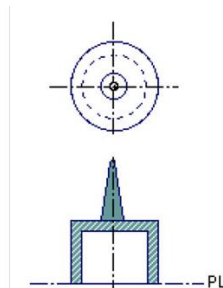
Share rate = *Share max* (1/s).

Ratio untuk menentukan gate yang dibutuhkan, dan ratio produk akan terkait dengan ratio standar pada bahan plastic. Jika tidak terpenuhi dengan *side gate* maka dapat menggunakan *multi gate* atau *sprue gate*. Apabila ratio produk lebih besar dari ratio bahan plastik sebaiknya menggunakan *multi gate* untuk mempertahankan material plastic. Berikut beberapa contoh jenis - jenis *gate* Antara lain :

1. *Sprue Gate*.

Merupakan jenis *gate* yang hanya memerlukan sedikit tekanan injeksi dan waktu yang cepat dalam pengisian produk ke dalam cetakan. *Sprue gate* digunakan pada cetakan *single cavity*, kerugian *sprue gate* yaitu meninggalkan bekas *gate* yang cukup besar pada produk. *Sprue gate* digunakan pada peralatan rumah tangga seperti ember, tempat sampah, dll. (Ahmed, 2017)

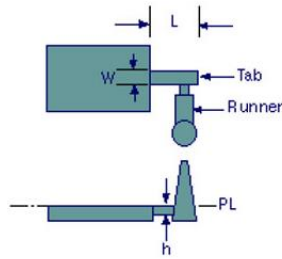
Contoh *Sprue Gate* dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2.10 *Sprue Gate* (Ahmed, 2017).

2. *Tab gate*

Tab gate digunakan pada produk yang berbentuk pipih. *Tab gate* terletak pada sisi yang sempit, *tab gate* dibuat untuk mengurangi tegangan geser. (Ahmed, 2017). Contoh *Tab Gate* sebagai berikut :

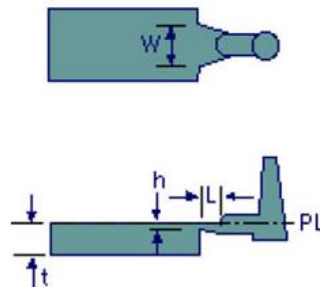


Gambar 2.11 *Tab Gate* (Ahmed, 2017).

3. *Fan Gate*

Fan gate memiliki bentuk seperti kipas, *fan gate* digunakan untuk membuat aliran yang stabil pada bagian produk. *Fan gate* memiliki keuntungan untuk menghindari deformasi dan mempertahankan bentuk produk (Ahmed, 2017).

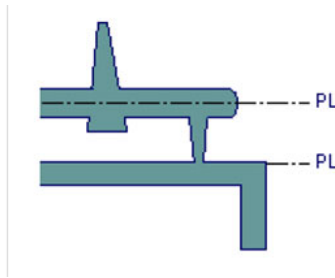
Contoh *Fan gate* sebagai berikut :



Gambar 2.12 *Fan Gate* (Ahmed, 2017).

4. *Pin Gate*

Pin Gate merupakan tipe *gate* yang digunakan pada cetakan sistem *three mold plate*. *Pin gate* dibuat untuk memudahkan produk lepas dengan *gate* dan *runner*, sehingga diameter *gate* dibuat kecil (Ahmed, 2017).

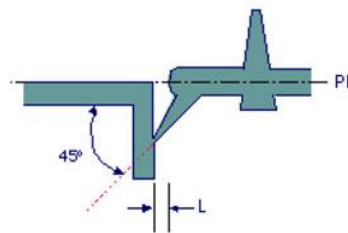


Gambar 2.13 *Pin Gate* (Ahmed, 2017).

5. *Sub Gate*

Sub gate merupakan *gate* yang digunakan pada cetakan sistem *two mold plate*. Letak *gate* sangat kecil dan berada di area yang sangat kritis. *Sub gate* mudah menempel dengan produk ketika cetakan terbuka (Ahmed, 2017).

Contoh *Sub gate* dapat dilihat pada gambar berikut :



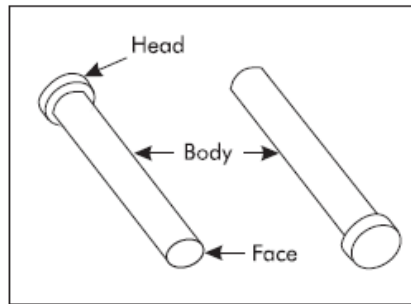
Gambar 2.14 *Sub Gate* (Ahmed, 2017).

2.2.5.5 *Ejector System*

Ejector System yaitu sistem yang mengeluarkan produk dengan mendorong produk dari cetakan. Beberapa metode yang lebih umum digunakan pada bagian *ejector system* yaitu : *standard ejection design*, *stopper ejector systems* dan *three-plate system with delayed ejection*. Berikut penjelasan tersebut :

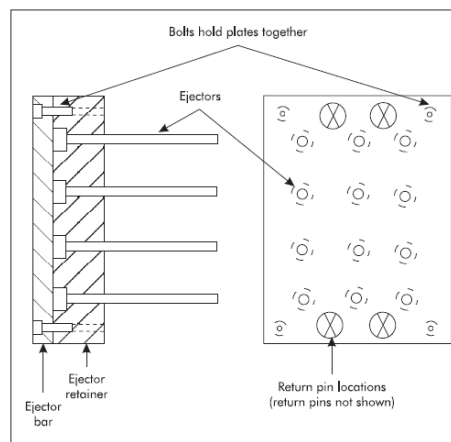
1. *Standard Ejection Design*

Untuk desain standar, bagian cetakan dilepas menggunakan *set ejector pin*, bentuk paling umum *ejector pin* seperti gambar berikut :



Gambar 2.15 *Ejector Pin* (Bryce, 1998).

Untuk membuat *ejector pin* agar tidak menembus produk yang dilakukan proses pendorongan, maka permukaan *pin ejector* harus rata dan tekanan pada saat mendorong harus dibagi pada area yang luas. Hal tersebut dilakukan untuk meminimalkan distorsi pada plastik selama proses pendorongan. *Ejector pin* dipasang pada *ejector plate* dan *ejector back plate* (Bryce, 1998). Proses pendorongan seperti gambar berikut :



Gambar 2.16 *Unit Standard Ejection* (Bryce, 1998).

Rumus menghitung beban *ejector* untuk mengetahui apakah dapat menahan beban yang terjadi pada *ejector pin* atau tidak sebagai berikut :

$$FB = \frac{m \times \pi^2 \times E \times I}{L^2} \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

Keterangan :

FB = Beban *Ejector* (N).

m = Konstanta tergantung ujung *ejector*.

$m = 1$: Kedua ujung sendi atau engsel.

$m = 1/4$: Satu ujung mati dan ujung lain bebas.

$m = 2$: Ujung mati dan ujung lain sendi.

$m = 4$: Kedua ujung mati.

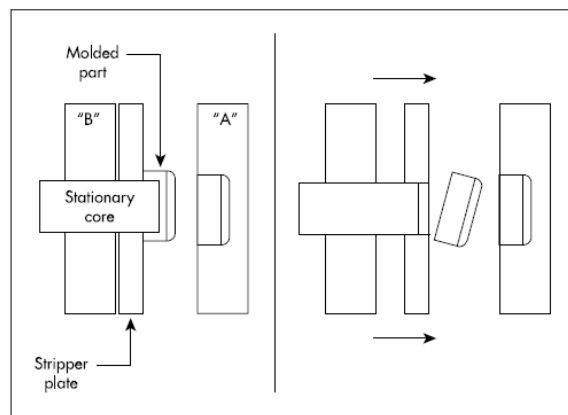
E = Modulus elastisitas bahan (N/mm^2).

I = Momen inersia = $\frac{\pi \times D^4}{64}$ (mm^4).

L = Panjang *ejector* (mm).

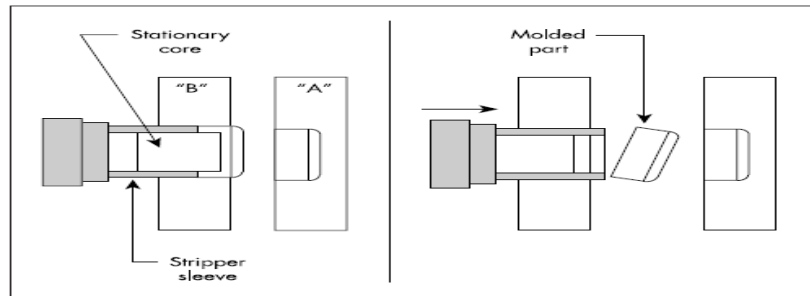
2. Stopper Ejector Systems

Pada situasi *ejector pin standar* tidak dapat dimanfaatkan karena desain *pin* sangat kecil sehingga dapat merusak bagian cetakan. Oleh karena itu, digunakan *ejector stopper systems* untuk menanggulangi masalah yang terjadi. Terdapat dua versi *ejector stopper systems* yaitu, *sleeve* dan *plate* (Bryce, 1998).



Gambar 2.17 *Stopper Ejection Plate* (Bryce, 1998).

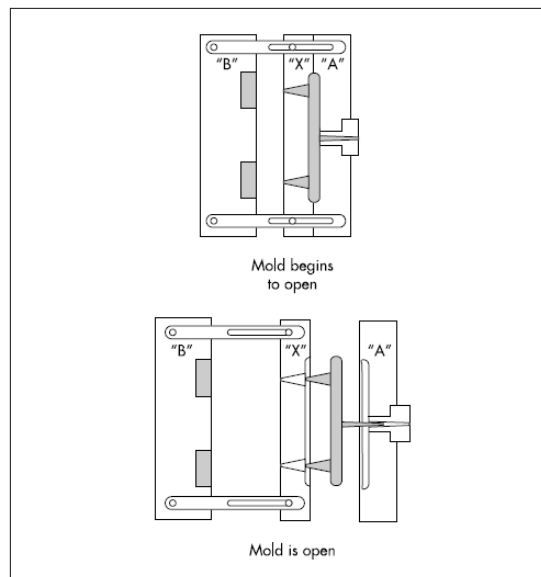
Pada gambar diatas yang berfungsi mengeluarkan produk adalah *stopper plate*. Berbeda dengan *ejector standar*, pada *ejector standar* yang mengeluarkan produk adalah *ejector pin*. Dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.18 *Stopper Sleeve Ejection* (Bryce, 1998).

3. *Three Plate System With Delayed Ejection*

Three plate system with delayed ejection digunakan pada *Three mold plate* untuk memisahkan produk dengan *gate* dan *runner*. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 2.19 *Stopper Sleeve Ejection* (Bryce, 1998).

Rumus perhitungan diameter *screw* untuk menahan *stopper* sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot \tau \cdot n \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

$$\text{Maka } d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot \tau \cdot n}} \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

Keterangan :

F_s = Gaya geser (N).

d_i = Diameter ijin (mm).

n = Jumlah baut.

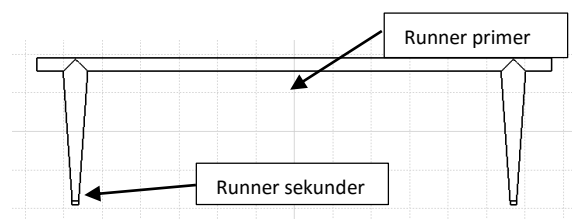
τ = Tegangan geser pada material (N/cm²).

2.2.5.6 Runner System

Runner system berfungsi untuk mengarahkan plastik cair ke dalam rongga cetak atau *mold* yang akan membentuk produk. Dinamakan *runner* karena plastik cair mengalir sepanjang saluran *runner* dan diarahkan ke dalam rongga cetak (Budiyantoro, 2017).

Didalam *runner system* memiliki dua jenis, yaitu *runner primer* dan *runner skunder*.

- *Runner primer* adalah *runner* yang mengalirkan plastik cair dari *sprue*.
- *Runner sekunder* adalah *runner* yang langsung mengarah ke produk.



Gambar 2.20 Bagian *Runner*.

Perancangan *runner system* harus mempertimbangkan 3 hal utama, yaitu :

- 1) Bentuk *runner*.
- 2) Letak *runner*.
- 3) Dimensi *runner*.

Rumus menentukan diameter *runner* :

$$D = \frac{W^{\frac{1}{2}} \times L^{\frac{1}{4}}}{3.7} \quad (\text{Persamaan 2.8})$$

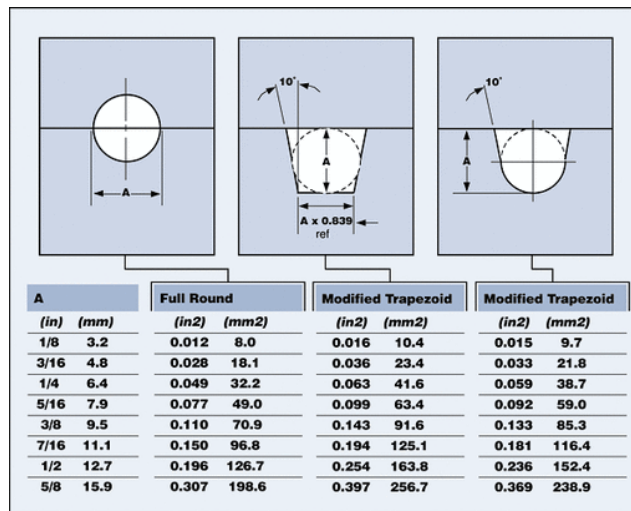
Keterangan :

D = Diameter *runner* (mm).

W = Berat produk (g).

L = Panjang *runner* (mm).

Bentuk *runner* dapat mempengaruhi aliran plastik cair dan penurunan tekanan akibat kontak lapisan yang mengering pada dinding *runner*. Jumlah material yang mengalir pada *runner* sebanding dengan ratio besarnya penampang *runner* terhadap keliling kontak pada penampang.



Gambar 2.21 Bentuk Penampang *Runner* (Budiyantoro, 2017).

Kriteria desain *runner* yang efisien yaitu, *runner* harus memberi luas penampang maksimal dan kontak minimum pada bagian tepi *runner* dari titik perpindahan panas. Jenis *runner modified* trapesium bulat adalah yang paling baik digunakan. Sedangkan ratio yang dimiliki sistem setengah lingkaran kurang baik dikarenakan ratio kecil. Cairan plastic yang menyentuh permukaan cetakan akan dingin dengan cepat akibat penurunan suhu. Material tersebut akan melewati tepi *runner*

yang berbentuk padat karena konduktivitas rendah yang dimiliki termoplastik.

2.2.5.7 Cold Runner

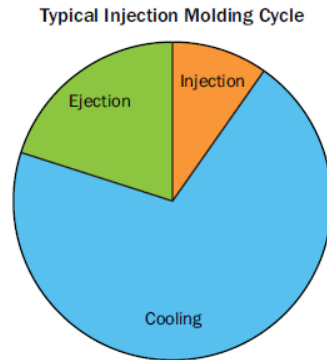
Pada bahan termoplastik hampir 70% *cold runner* digunakan di setiap cetakan. Cetakan *cold runner* mengacu pada bentuk cetakan di mana *runner* didinginkan dan dikeluarkan bersama bagian produk. Pembuatan tidak terlalu rumit dan harga tidak terlalu mahal dibanding dengan *hot runner* menjadi alasan *cold runner* sering digunakan.

Dalam cetakan *single cavity*, rongga cetak umumnya ditempatkan ditengah cetakan, dan *sprue* menyalurkan matrial plastik cair langsung pada pusat rongga cetak. Dalam cetakan *multi cavity*, matrial plastik cair masuk ke dalam runner kemudian diteruskan *gate* menuju rongga cetak.

Cold runner digunakan dalam cetakan sebagai bahan reaktif seperti termoset dan *rubber*. *Cold runner* harus dijaga pada temperatur 80 - 120 °C agar materialnya tidak bereaksi dini didalam *runner* (Budyantoro, 2016).

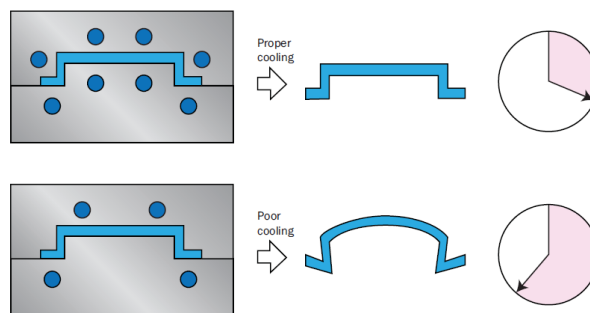
2.2.5.8 Cooling Mold

Pendingin cetakan dapat mencapai pendinginan yang efisien jika desain sirkuit mengurangi waktu pendinginan, pada saat meningkatkan produktivitas keseluruhan. Pendinginan seragam dapat meningkatkan kualitas dengan mengurangi tegangan dan mempertahankan akurasi dan stabilitas dimensi.



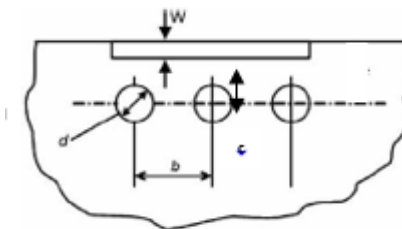
Gambar 2.22 Cycle Time Injection Molding (Shoemaker, 2006).

Pendinginan yang tepat dan efisien dapat meningkatkan kualitas dan produktivitas. Oleh karena itu tata letak *mold cooling system* harus memperhatikan bentuk produk untuk meminimalisasi cacat, seperti gambar berikut :



Gambar 2.23 Penempatan *Mold Cooling* yang Efisien (Shoemaker, 2006).

Rumus mencari jarak *cooling* dengan produk dan jarak antar *cooling* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.24 Perhitungan Jarak *Cooling* dengan Produk dan Jarak antar *Cooling* (Shoemaker, 2006).

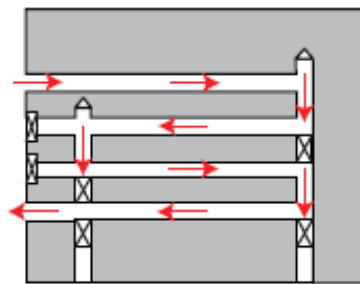
Keterangan :

Tebal Plat (W)	Diameter (d)
2 mm	8 - 10 mm
4 mm	10 -12 mm
6 mm	12 - 15 mm
$c = 2d$ ke $3d$	$b = 3d$ ke $4d$

Cooling mold memiliki 3 jenis, yaitu : *Cooling seri*, *Cooling parallel* dan *Baffle Bubbler*.

A. *Cooling Seri*.

Merupakan saluran pendingin yang terhubung oleh satu penampang atau lubang dari saluran masuk pendingin ke bagian saluran keluar. Pendinginan jenis ini adalah yang paling umum direkomendasikan dan digunakan. Jika saluran pendingin berukuran seragam, pendinginnya bisa mempertahankan laju alir material. Aliran turbulen memungkinkan panas tersalurkan secara efektif. Akibatnya efisiensi meningkat tetapi harus meminimalkan kenaikan suhu dari pendingin karena akan mengumpulkan semua panas sepanjang saluran pendinginan (Shoemaker 2006).

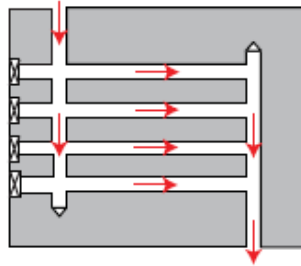


Gambar 2.25 Saluran *Cooling Seri* (Shoemaker, 2006).

B. *Cooling Paralel*

Karakteristik aliran paralel yaitu laju aliran sepanjang saluran pendinginan akan berbeda karena perbedaan temperatur pendingin

aliran pada masing - masing saluran. Variasi aliran dari *inlet* pendinginan menuju *outlet* pendingin semakin meningkat dan menyebabkan efisiensi perpindahan panas dari cetakan kurang efektif. Maka pendinginan cetakan tidak dapat seragam dengan pendingin jenis paralel (Shoemaker, 2006).



Gambar 2.26 Saluran *Cooling* Paralel (Shoemaker, 2006).

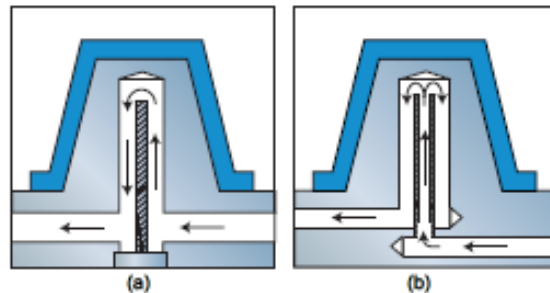
C. *Baffle* dan *Bubbler*

Sistem pendinginan yang mengalirkan aliran pendingin kebagian yang memerlukan pendinginan yaitu *baffle* dan *bubbler*. Saluran pendingin normal dibuat langsung melalui rongga cetak dan inti cetakan. *Baffle* dan *bubbler* merupakan solusi pendinginan jika produk menggunakan sistem pendingin biasa tidak dapat diatasi.

Baffle adalah saluran pendingin yang tegak lurus pada saluran masuk pendingin. *Baffle* berbentuk plat pipih yang memisahkan saluran pendingin menjadi dua saluran pendingin berbentuk setengah lingkaran. Cairan pendingin mengalir pada plat dari saluran masuk, lalu ke sisi saluran keluar pendingin dari *baffle*.

Bubbler dengan *baffle* hamper sama hanya berbeda pada bentuk pemisah aliran. *Bubbler* menggunakan pemisah berbentuk tabung atau pipa kecil. Maka cairan pendingin mengalir pada bagian bawah tabung dan keluar dari atas seperti air mancur. Kemudian mengalir turun pada bagian luar tabung untuk melanjutkan aliran menuju saluran pendingin (Shoemaker, 2006).

Dibawah ini gambar dari sistem pendingin *baffle* dan *bubbler* sebagai berikut :



Gambar 2.27 (a) *Baffle* (b) *Bubbler* (Shoemaker, 2006)

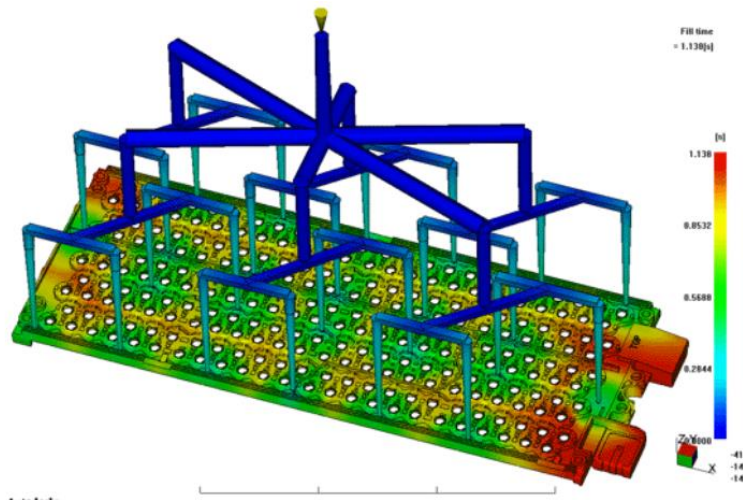
2.2.5.9 *Runner Balance*

Runner balance adalah penyeimbang yang membatasi tingkat aliran plastik ke satu cetakan atau lebih agar semua rongga dalam cetakan terisi pada saat yang sama. Metode yang paling umum digunakan dalam cetakan *cold runner* adalah mengubah diameter *gate* dan diameter *runner*. Dibutuhkan lebih dari sekedar keseimbangan waktu pengisian untuk mendapatkan cetakan, proses, dan kualitas yang benar - benar baik dan seimbang. Keseimbangan dalam mengisi cetakan masih ada variasi yang terlihat pada rongga dalam dan rongga luar untuk *runner* yang geometris. (Budyantoro, 2017)

Variasi tersebut adalah suhu cetakan, tekanan injeksi dan penyusutan volumetrik. *Runner* yang seimbang dapat menghasilkan keseimbangan pengisian, pengemasan, sifat material, dan kualitas produk.

Dalam simulasi sebuah desain cetakan, *runner balance* harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas produk. Selain itu *runner balance* dapat mempengaruhi cacat *short shot* pada produk dan akan mengakibatkan bentuk produk yang tidak sesuai desain awal. Tekanan injeksi dan suhu cetakan adalah hal utama yang diperhatikan dalam pembuatan *runner balance* agar simulasi produk berjalan sesuai rencana dan tidak terjadi cacat pada produk tersebut (Setiawan, 2018)

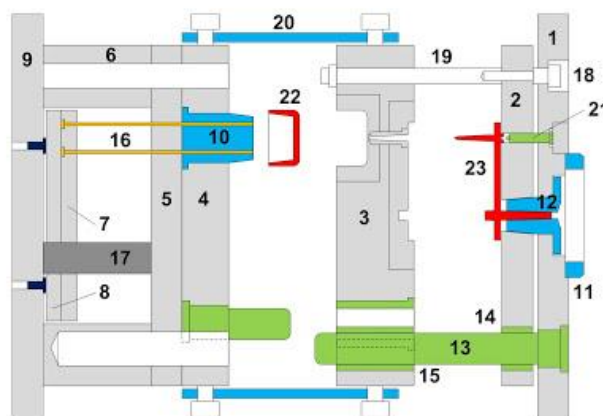
Contoh *runner balance* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.28 *Runner Balance System* (Bargelis, 2007).

2.2.5.10 Konstruksi Sistem Cetakan *Three Mold Plate*

Cetakan memiliki beberapa konstruksi salah satunya adalah konstruksi *Three Mold Plate*. *Three Mold Plate* adalah sebuah sistem yang memisahkan antara *runner* dan produk secara langsung ketika cetakan terbuka, sehingga *runner* yang menempel dengan produk dapat terlepas dengan sendirinya. Pada gambar dibawah kita dapat melihat konstruksi dari *Three Mold Plate* sebagai berikut :



Gambar 2.29 Konstruksi *Three Mold Plate* (Wijaya, 2010).

Keterangan untuk gambar konstruksi *Three Mold Plate* :

1. *Top clamping plate*, yang dihubungkan dengan baut pada *injection machine*.
2. *Runner stopper plate*.
3. *Cavity plate*.
4. *Core plate*.
5. *Core back up plate*.
6. *Spacer block*.
7. *Ejector plate*.
8. *Ejector retainer plate*.
9. *Bottom clamping plate*, yang dihubungkan dengan baut pada *injection machine*.
10. *Core block*, tergantung produk yang akan dibuat.
11. *Locating ring*.
12. *Sprue bush*.
13. *Support pin*, jumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris.
14. *Guide pin bushing*, mengikuti jumlah *support pin*.
15. *Guide pin bushing*, mengikuti jumlah *support pin*.
16. *Ejector*, jumlah dan bentuk sesuai kebutuhan desain produk.
17. *Support*, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris.
18. *Stopper bolt*, mengikuti jumlah *puller bolt*.
19. *Puller bolt*, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris.
20. *Chain*, berjumlah 4 buah pada posisi seimbang.
21. *Runner lock pin*, mengikuti jumlah *gate* yang digunakan.
22. Produk.
23. *Runner*.

Cetakan plastik terdiri dari dua jenis, yaitu *two mold plate* dan *three mold plate*. Pada sistem *two mold plate* terdiri dari *cavity plate* dan *core plate*, sedangkan pada sistem *three mold plate* ditambah dengan *runner plate*.

Pada sistem *three mold plate*, *cavity plate* berada pada bagian tersendiri. Ketika *mold* terbuka *cavity plate* masih bergantung pada

mold top clamping tepatnya pada *support pin* . *Sprue bush* terpasang diantara *runner plate* dan *mold top clamping plate* . *Top clamping plate* mempunyai *locating ring* , yang berfungsi sebagai tempat *sprue bush* dan *injection machine* .

Cavity plate adalah plat pembentuk produk, sehingga permukaan yang membentuk produk mendapat perlakuan khusus. Seperti perlakuan *polish* sehingga permukaannya sangat halus atau perlakuan *etching* dan *sand blash* agar membentuk permukaan yang mengkilap.

Pada bagian *core plate* terdapat *ejector* yang mengikuti bentuk *core plate* sesuai produk yang akan dibuat. Susunan *ejector* berfungsi mendorong produk ketika proses injeksi. Maka desain *core plate* dan *cavity plate* harus dibuat agar ketika *mold* terbuka, maka produk akan melekat pada sisi *core plate* . Macam bentuk *ejector* menyesuaikan produk maka bentuk *ejector* banyak macamnya, seperti berpenampang pipih (*blade ejector*), bulat (*pin ejector*), dan bulat berselongsong (*sleeve ejector*). Ada juga yang dibentuk secara khusus untuk mengikuti permukaan produk seperti bentuk *striper plate ejector* .

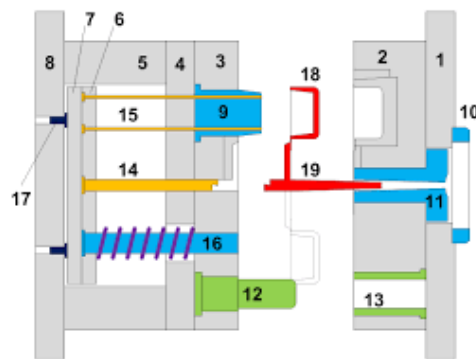
Secara umum *three mold plate* menghasilkan produk yang telah terpisah dengan *runner* . Maka dengan aplikasi *gate* yang disebut *pin gate point* , saat *mold* terbuka posisi *runner* harus tetap melekat pada *runner plate* dengan *runner pin lock* sebagai pengunci pada setiap *gate* yang ada. (Wijaya, 2010)

2.2.5.11 Perbedaan Sistem *Two Mold Plate* Dengan *Three Mold Plate*

Injection molding dikategorikan menjadi dua kategori utama, yaitu *two mold plate* dan *three mold plate* . Jenis kategori masing - masing memiliki desain yang berbeda fungsi dan struktur cetakan. Jenis cetakan tergantung pada bentuk produk, fungsi cetakan dan kapasitas produksi, biaya fabrikasi cetakan juga tergantung pada cetakan yang akan digunakan. Berikut perbedaan kedua jenis cetakan tersebut :

1. Sistem *Two Mold Plate*.

Sistem cetakan *two mold plate* adalah sistem yang paling sederhana. Ciri – cirinya adalah bentuk *gate* pada cetakan berjenis *side gate* dan *sprue gate*, kemudian letak *gate* berada langsung didalam *plate cavity*, *runner* dan *sprue* tidak memiliki *runner plate*. Oleh karena itu produk selalu keluar bersamaan dengan *runner* dan *gate*, dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.30 Sistem *Two Mold Plate*. (Wijaya, 2010)

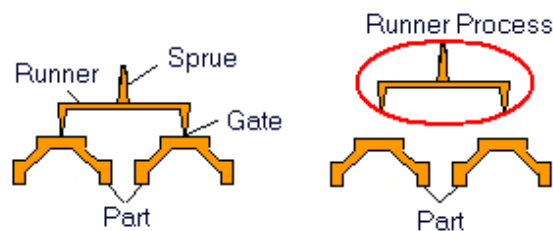
- a. Keuntungan sistem cetakan *two mold plate* :
 1. Biaya pembuatan lebih murah.
 2. Bentuk cetakan sederhana.
 3. Mudah dalam mengatur parameter proses mesin injeksi pada proses produksi.
 4. Mudah dilakukan perawatan.
 5. Waktu yang dibutuhkan dalam pembuatan cetakan relatif singkat.
 6. Mudah dalam pemasangan dan perakitan cetakan.
 7. Sistem injeksi yang sederhana.

- b. Kerugian cetakan sistem *two mold plate* :

1. *Runner* dan produk tidak dapat terpisah secara otomatis dan masih memerlukan proses pemotongan secara manual.
2. Letak *gate* lebih membekas setelah pemotongan manual.

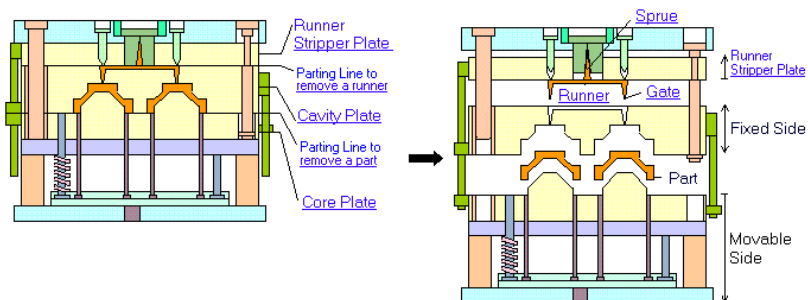
2. Sistem *Three Mold Plate*

Sistem *three mold plate* adalah sebuah sistem cetakan yang memisahkan antara *runner* dan produk secara otomatis ketika cetakan terbuka. Sehingga *runner* yang menempel dengan produk dapat terlepas tanpa adanya proses pemotongan manual. Seperti pada gambar *runner* terpisah dengan produk sebagai berikut :



Gambar 2.31 *Runner* Terpisah Dengan Produk. (Muttamara, 2001)

Sistem *three mold plate* memiliki sistem yang lebih lengkap dibandingkan dengan sistem *two mold plate*. Seperti pada gambar sistem *three mold plate* berikut :



Gambar 2.32 Sistem *Three Mold Plate* (Muttamara, 2001).

a. Keuntungan dari cetakan sistem *three mold plate* :

1. *Runner* dapat langsung terpisah secara otomatis ketika cetakan terbuka.

2. Waktu siklus produksi dapat dikurangi (tidak perlu proses pemotongan *runner* secara manual).
 3. Biaya produksi lebih efisien.
- b. Kerugian cetakan sistem *three mold plate* :
1. Bentuk cetakan lebih rumit.
 2. Biaya pembuatan cetakan lebih mahal.
 3. Pembuatan cetakan memakan waktu yang cukup lama.