

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sistem konstruksi *Three-plate mold* sudah banyak digunakan pada dunia industri dalam berbagai produk yang berbeda-beda dengan berbagai pertimbangan dan perhitungan desain mold yang baik. Tetapi perancangan dan penelitian dengan sistem ini masih minim dilakukan, hanya Ada beberapa perancangan dan penelitian dilakukan dengan sistem konstruksi *three-plate mold* yaitu sebagai berikut.

Menurut Zamree (2006) dalam *Analyses Of Material Flow In Two And Three-Plate Molds For Mold Design Selection* mengatakan bahwa menggunakan jenis pin point gate pada *Three plate mold* lebih baik dibandingkan marine gate pada *Two Plate Mold* karena menghasilkan waktu pengisian yang lebih baik dan bentuk aliran pada *pin point gate* melingkar sehingga hasil permukaan pada tepi produk lebih baik.

Menurut Seok Park dan Phuong Dang (2012) mengatakan bahwa Saluran pendingin konformal dapat mengurangi 15,7% warpage, Secara umum, saluran pendingin jenis konformal memberikan pendinginan yang merata dan lebih baik karena saluran konformal melengkung menyesuaikan permukaan bentuk produk dibandingkan saluran pendingin yang lurus.

Menurut Sugondo (2008) dalam Kajian Pengaruh Ketebalan Pada Kualitas Dan Mampu Bentuk Dengan Menggunakan Simulasi Pada Proses Injection Molding dalam Studi Kasus: Model Gelas mengatakan bahwa ketebalan dan semakin tipis produk belum tentu baik untuk diproduksi karena tingkat pengisian masih belum menunjukkan suatu hasil yang bagus, tingkat pengisian mold 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.

2.2. Dasar Teori

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

Morphology merupakan struktur molekul polimer dalam keadaan solid. Pada kondisi solid polimer 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. Bahan semi-kristal polimer dapat mengandung fraksi kristal yang berbeda-beda, nilai kandungan 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. Gambar 2.1. struktur polimer Semi-Kristal dapat dilihat di bawah ini.

(Budiyantoro, 2009: 22)



Gambar 2.1. Struktur polimer Semi-Kristal dalam kondisi cair dan solid
(Budiyantoro, 2009)

Struktur amorphous terlihat tak teratur dan dapat dibayangkan seperti spaghetti, 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. 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. (Budiyantoro, 2009: 22)

Gambar 2.2. Struktur polimer *Amorphous* dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.2. Struktur polimer *Amorphous* dalam kondisi cair dan solid (Budiyantoro, 2009)

Adapun perbedaan sifat-sifat dari *Amorphous* dan kristalin yang dapat dibandingkan antara kedua morfologi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. adalah perbandingan sifat-sifat bahan dari kedua jenis struktur polimer dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 2.1. Perbedaan sifat morfologi polimer (Budiyantoro, 2009)

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		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

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa morphology 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

(Budyantoro, 2009: 24)

2.2.2. Polypropylene (PP)

Polypropylene pertama kali diproduksi sekitar tahun 1959 dengan tujuan mendapatkan polyolefin yang mengandung derajat kerystal yang tinggi. Polimerisasi dilaksanakan dalam suatu reaktor bertekanan 12 atm dengan suhu sekitar 30 – 80 °C. Polypropylene adalah bahan yang cukup handal untuk aplikasi dari film hingga fiber. Strukturnya hampir sama dengan PE namun ada substitusi satu bagian hidrogen dengan grup CH₃ (methyl) pada salah satu lengannya. Konfigurasi dari grup ini dapat disusun sebagai isotactic, syndiotactic dan atactic seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. PP disintesis melalui polimerisasi propylene, suatu monomer yang diambil dari minyak bumi dengan katalis Ziegler Natta atau memakai katalis metallocene. (Budyantoro, 2009: 60)

Gambar 2.3. di bawah ini



Gambar 2.3. Reaksi sintesa PP
(Budyantoro, 2009)

Katalis Ziegler Natta memungkinkan adanya kontrol tacticity untuk membentuk PP dalam susunan Isotactic atau syndiotactic yang akan menjadi semi-kristal rigid. Syndiotactic PP akan melebur pada suhu lebih rendah dari

Isotactic PP yang melebur di suhu 165 °C. Sedangkan atactic PP hanya mempunyai kandungan kristal maksimal 10 % karena struktur acaknya menghambat terbentuknya kristal dalam jumlah besar. Atactic PP bersifat lunak dan fleksibel digunakan sebagai sealing strip, adhesive dan laminating. Hampir 95% PP diproduksi dalam susunan repeating unitnya, namun lebih tahan terhadap perubahan lingkungan jika dibanding dengan PE. Untuk mengatasi masalah degradasi ini pada kasus tertentu diperlukan tambahan antioxidant pada PP. Sebagai keluarga *polyolefin*, PP juga mempunyai BJ kurang dari 1 (sekitar 0.905 gr/cm³), bahkan yang terendah diantara kelompok thermoplastik. PP juga sedikit menyerap air karena molekulnya yang non polar. Sifat-sifat lain yang dimiliki antara lain:

- a) Tahan terhadap kimia kecuali larutan chlorine, bahan bakar, dan xylene
- b) Konstanta dielektrik rendah dan insulasi listrik yang baik
- c) Sulit direkatkan, harus ada perlakuan khusus pada permukaannya.

PP juga mempunyai T_g dan T_m lebih tinggi dibanding PE (kecuali UHMW), demikian juga dalam hal service temperatur. Oleh karena itu PP tahan terhadap air mendidih dan sterilisasi dengan uap panas. Dari sisi kemampuan mekanis, PP lebih tahan terhadap retak akibat bending dibanding PE sehingga banyak dipakai untuk aplikasi tali, pita isolasi, karpet, dan gantungan. Salah satu kekurangannya adalah tidak sesuai dipakai di suhu rendah kurang dari T_g nya karena akan menjadi rapuh dan mudah retak akibat beban, yang dapat diatasi dengan kopolimerisasi. Isotactic, banyaknya rangkaian isotactic pada keseluruhan rantai akan meningkatkan derajat kristal, modulus, dan kekerasan bahan. (Budiyantoro, 2009: 61)

Adapun sifat-sifat pp dapat dilihat pada tabel 2.2. di bawah ini

Tabel 2.2 Sifat-Sifat PP . (Budiyantoro, 2009)

Sifat Fisik Polypropylene (PP)	
Berat Jenis (gr/cm ³)	0.9-0.91
Glass Transition Temperatur (Tg), °C	10
Titik Lebur (Tm), °C	160-165
Derajat Kristal (%)	60-70
Ratio Flow path	(250-275):1
Shrinkage (%)	1-2.5
Tekanan injeksi (N/mm ²)	100-130
Tekanan cavity (kg/cm ²)	250-400
Sifat Mekanis Polypropylene (PP)	
Modulus Elastisitas (MPa)	1300-1800
Ball indentation hardness (N/mm ²)	70
Shore hardness	72
Kekuatan Kejut Charpy, tanpa takikan (KJ/m ²)	Tidak Patah
Kekuatan Kejut Charpy, dengan takikan pada suhu (KJ/m ²)	23°C
	4°C

Jika dilihat dari parameter prosesnya, cairan PE lebih sensitive terhadap perubahan suhu jika dibanding PP, *shrinkage* juga lebih besar dalam kasus PE. PE lebih mudah dicairkan sehingga memerlukan energi lebih rendah dibanding peleburan PP. Suhu proses untuk PP sekitar 210 hingga 250 °C,

dan tidak boleh terlalu lama ditahan untuk menghindari terjadinya reaksi oksidasi, proses kontrol kristalisasi sangat diperlukan jika membuat film dari bahan ini melalui pendinginan yang dapat diatur. (Sumber: Budiyanoro, Cahyo. Thermoplastik dalam industri. Hal: 61) PP yang digunakan adalah

PP RJ700 adalah jenis PP kopolimer yang memiliki kekerasan lebih rendah dibanding dengan PP homopolimer acak dengan transparansi yang lebih besar dari PP Homo biasa, Penambahan komonomer dan agen nukleasi transparan telah meningkatkan sifat mekanik secara keseluruhan. Memilih jenis kopolimer karena harga yang murah dan sifat mekanik yang sesuai dengan produk *glove box* yaitu tidak memerlukan kekerasan yang tinggi kemudian harga material yang murah. Berikut tabel 2.3. perbandingan PP *homopolymer* dengan PP *copolymer* dan pada tabel 2.4. keterangan PP RJ 700

Tabel 2.3. Perbandingan PP *homopolymer* dengan PP *copolymer* (sumber: British Plastics Federation)

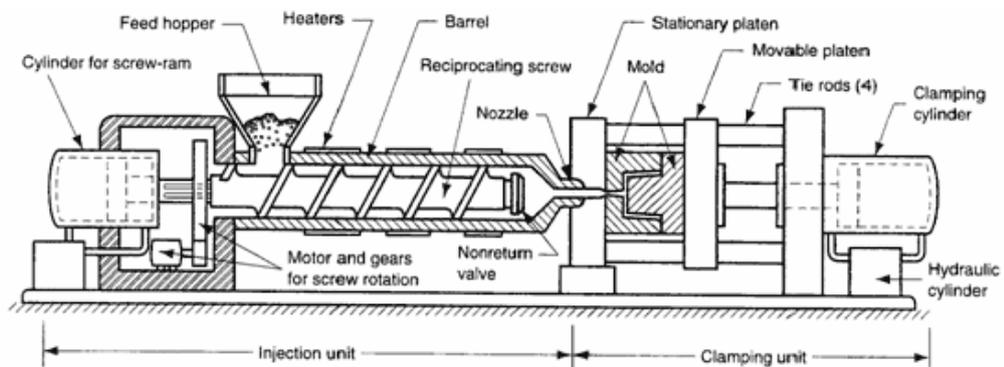
		Homopol	Copolym
Density	/ kgm-3	905	905
Price/tonne	/ £	680	620
Tensile strength	/ Mpa	33	25
Tensile modulus	/ Gpa	1,4	1,0
Elongation at break	/ %	150	300
Hardness	/ Rockwell "R" scale	90	80
Notched izod impact	/ kJm-1	0,07	0,1
Heat distroction temp(HDT)	@ 0,45 Mpa /°C	105	100
Heat distroction temp (HDT)	@ 1,80 Mpa /°C	65	60
Volume resistivity	/ log Um	19	19
Oxygen Index	/ %	17	17

Tabel 2.4. Data sheet PP RJ 700 (SAMSUNG TOTAL PETROCHEMICALS Co, Ltd)

Physical performance	Rating (English)	Rated (Metric)	Test Methods
Density	0.910 g / cm ³	0.910 g / cm ³	ASTM D1505
Flow rate (230 ° C / 2.16 kg)	20 g / 10 min	20 g / 10 min	ASTM D1238
Mechanical behavior	Rating (English)	Rated (metric)	Test Methods
Tensile strength (yield)	4270 psi	29.4 MPa	ASTM D638
Elongation (fracture)	600%	600%	ASTM D638
Bending modulus	156000 psi	1080 MPa	ASTM D790
Impact performance	Rating (English)	Rated (metric)	Test Methods
Cantilever Beams Notched Impact Strength (73 °F (23 °C))	0.94 ft · lb / in	50 J / m	ASTM D256
hardness	Rating (English)	Rated (metric)	Test Methods
Rockwell hardness (R scale)	89	89	ASTM D785
Thermal performance	Rating (English)	Rated (metric)	Test Methods
Heat distortion temperature (66 psi (0.45 MPa), unannealed)	207 ° F	97.0 ° C	ASTM D648

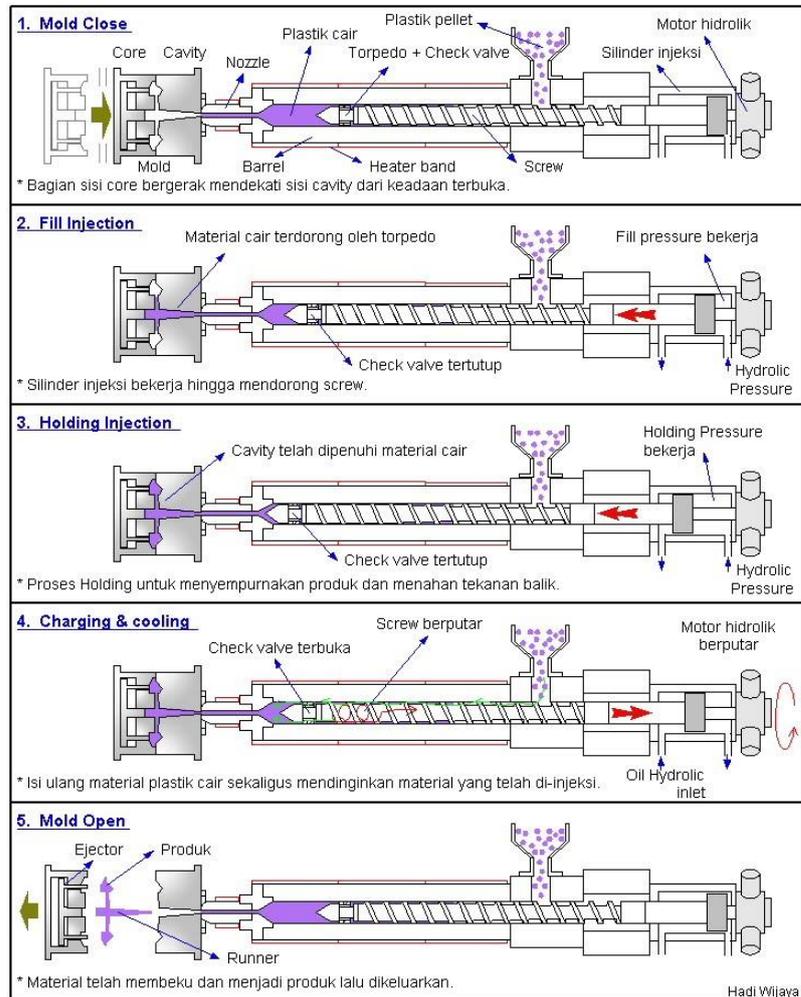
2.2.3. Injection Molding

Injection molding adalah suatu metode pemrosesan material plastik menjadi sebuah benda atau produk dimana material plastik meleleh karena temperatur didalam barel dan gesekan, yang kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan selanjutnya didinginkan oleh air atau oli sehingga produk menjadi keras. Secara umum pengertian *injection molding* adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik yang dipanaskan dan diinjeksikan ke dalam cetakan atau *mold*. *Mold* plastik merupakan suatu alat (*tool*) yang digunakan untuk membuat sebuah 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 (toleransi) yang sesuai dan pemilihan material. Ada bagian-bagian unit *injection molding* dapat dilihat pada gambar 2.4. dan siklus mesin injeksi pada gambar 2.5. di bawah ini.



Gambar 2.4. Unit bagian *injection molding*
(Atmajaya, 2010)

Siklus kerja mesin *injection molding*



Gambar 2.5. Siklus kerja mesin *injection molding* (wijaya. 2010)

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pertama 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* didalam *barrel* sehingga plastik meleleh. Kemudian matrial yang telah mencair di injeksikan ke dalam cetakan dalam siklus *fill injection* masuk memenuhi rongga cetakan (bentuk produk) setelah itu matrial didalam mold

terjadi siklus *holding injection* agar material tidak kembali ke dalam *barrel* disiklus ini *clamping force* dan *injection pressure* yang menahan material plastik, Ketika siklus *holding injection* selesai kemudian proses pendinginan terjadi pada siklus *charging and cooling* pada siklus ini mold melakukan pendinginan produk melalui *cooling mold* dengan menggunakan cairan pendingin air atau oli, disisilain *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*. adapun perhitungan *clamping force*

$$F_i = \frac{A_p}{P_i} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan

F_i = *clamping force* (ton)

A_p = area proyeksi (cm²)

P_i = tekanan internal (kg.cm²)

2.2.4. Design Mold

2.2.4.1. Produk

Produk yang akan dibuat harus memiliki syarat layak cetak, Kemudian di sini perancang dapat menentukan konstruksi mold yang akan digunakan untuk cetakan produk dengan cara melihat bentuk produk, bentuk *parting line* dan *gate*. Sampel produk yang digunakan adalah *glove box*, *glove box* merupakan tempat penyimpanan sarung. Pada produk plastik rentan terjadinya penyusutan yang diakibatkan perubahan densitas dari temperatur proses ke temperatur ruang. Adapun rumus untuk menghitung nilai *shrinkage*.

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

Keterangan

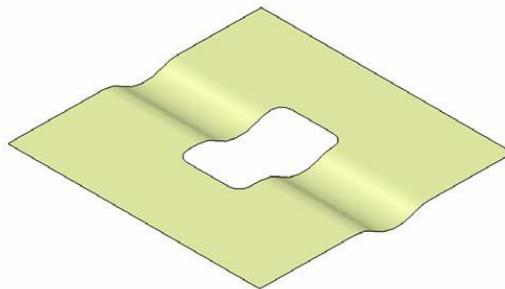
S = *shrinkage* (%)

L_m = dimensi produk sesaat setelah dicetak (mm)

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

2.2.4.2. *Parting Line*

adalah 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 2.6. di bawah ini.



Gambar 2.6. *Parting line* produk
(Djunarso, 2011)

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

2.2.4.3. Gate

Gate merupakan daerah penghubung antara *runner* dengan *cavity*. Lokasi *gate* sangat berpengaruh pada properti dan penampilan produk, sehingga penempatan gate sebisa mungkin diletakkan didaerah produk yang tersembunyi. (Djunarso. 2011: 39)

Untuk mendesain gate perlu memperhatikan hal berikut ini

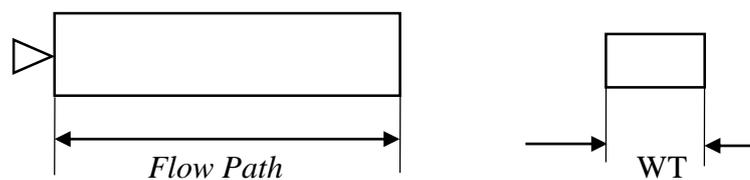
- Posisikan gate pada bagian produk yang lebih tebal
- Letakkan gate pada bagian yang tersembunyi
- Hindarkan terjadinya cacat weld line pada daerah pembebanan
- Pelepasan gate harus semudah mungkin .
- Hindari udara terjebak
- Hindari cacat jetting dengan menempatkan gete dan dimensi

Penentuan gate juga memperhatikan rasio aliran terhadap tebal dinding produk. Posisi *gate* dapat dilihat pada gambar 2.7. di bawah ini.



Gambar 2.7. Contoh letak posisi Gate

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



Gambar 2.8. Keterangan flow path

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

Keterangan

Flow Path = Ratio jalur aliran

WT = Tebal produk

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

Keterangan

Q = *shot volume / injection time* (cm³/s)

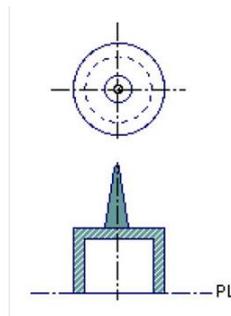
Share rate = share maximum (1/s)

Ratio ini untuk menentukan berapa gate yang dibutuhkan, dan ratio 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 ratio produk > dari ratio bahan plastik sebaiknya menggunakan *multi gate* untuk mempertahankan menggunakan material plastik tersebut atau lebih baiknya mengganti bahan material plastik.

Gate memiliki beberapa tipe seperti

1. *Sprue gate* (gate langsung)

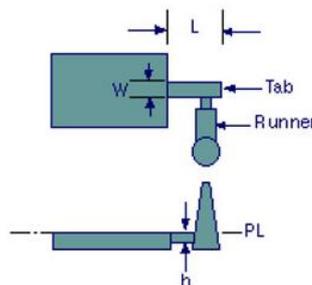
Merupakan tipe gate langsung yang hanya memerlukan sedikit tekanan injeksi dan waktu yang cepat dalam pengisian produk ke dalam cetakan, biasanya digunakan pada cetakan *single cavity*, kerugian tipe *sprue gate* adalah meninggalkan bekas *gate* yang cukup besar pada produk yang sulit dihilangkan, biasanya tipe *sprue gate* banya digunakan pada peralatan rumah tangga seperti contoh ember, tempat sampah, dll. Gambar 2.8. *sprue gate* dapat dilihat di bawah ini. (Ahmed, 2017)



Gambar 2.9. *sprue gate* (Ahmed, 2017)

2. *Tab gate*

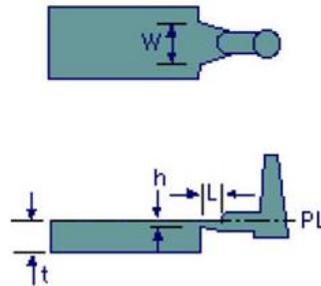
Tipe *tab gate* biasanya digunakan pada produk yang memiliki bentuk pipih datar panjang, kemudian terletak disisi yang sempit, tipe *tab gate* dibuat untuk mengurangi tegangan geser yang ada di sekitar *gate*. (Ahmed, 2017) Gambar 2.10. dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.10 *Tab gate* (Ahmed, 2017)

3. *Fan Gate*

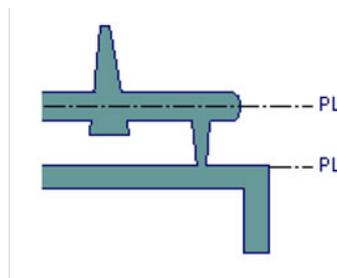
Memiliki bentuk seperti kipas, tipe *fan gate* dibuat untuk membuat aliran yang stabil kebagian produk, memiliki keuntungan untuk menghindari deformasi dan mempertahankan bentuk produk. (Ahmed, 2017) Gambar 2.11. dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.11 *Fan Gate* (Ahmed, 2017)

4. *Pin Gate*

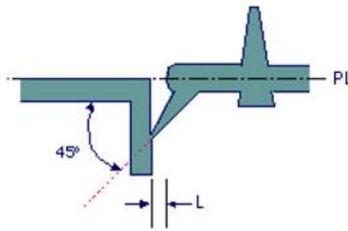
Merupakan tipe *gate* yang hanya digunakan pada konstruksi *three-plate mold*. Tipe *pin gate* dibuat untuk memudahkan produk lepas dengan *gate* dan *runner*, sehingga diameter *gate* dibuat sekecil mungkin. (Ahmed, 2017) Gambar 2.12. dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.12 *Pin Gate* (Ahmed, 2017)

5. *Sub Gate*

Merupakan *gate* yang biasa digunakan pada tipe konstruksi *two-plate mold*. Titik letak *gate* sangat kecil berada di area yang sangat kritis, *gate* biasanya dengan mudah ikut dengan produk ketika cetakan terbuka. (Ahmed, 2017) Gambar 2.13. dapat dilihat di bawah ini



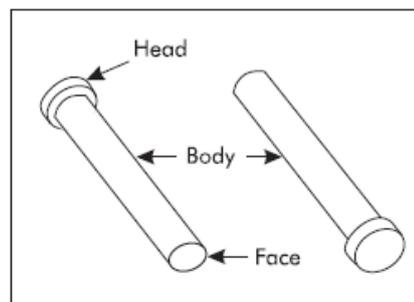
Gambar 2.13 *Sub Gate* (Ahmed, 2017)

2.2.4.4. Sistem Ejector

Sistem *ejector* adalah sebuah sistem yang berfungsi mengeluarkan dengan cara mendorong produk dari dalam cetakan.. Meskipun ada banyak cara untuk melakukan ini, ada beberapa metode yang lebih umum digunakan pada bagian ini seperti: *standard ejection design*, *stopper ejector systems* dan *three-plate system with delayed ejection*. Berikut penjelasannya

1. *Standard ejection design*

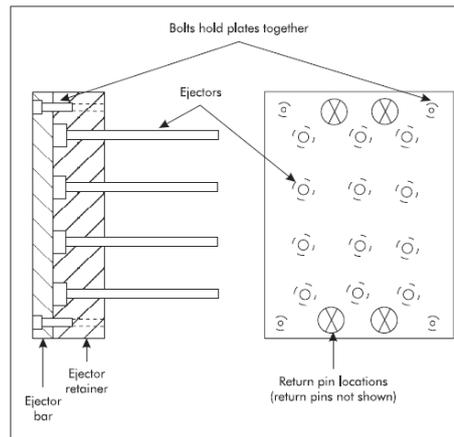
Pada desain standar bagian cetakan dilepaskan dengan menggunakan satu set "pin" ejektor, bentuk yang paling umum adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 *Pin ejector* (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 ejsi. *Pin ejector* dipasang pada sebuah *ejector plate* kemudian *ejector back plate* yang mendorong *ejector plate*, (Bryce, 1998: 82-83) ketika proses ejsi berlangsung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Unit *standard ejection* (Bryce, 1998)

Adapun rumus menghitung Gaya *buckling* atau beban *ejector* untuk mengetahui apakah dengan diameter, jumlah dan panjang yang diasumsikan dapat menahan beban yang terjadi pada pin ejector atau tidak. berikut rumus Gaya *buckling*

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

Keterangan

FB = Gaya *buckling* (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

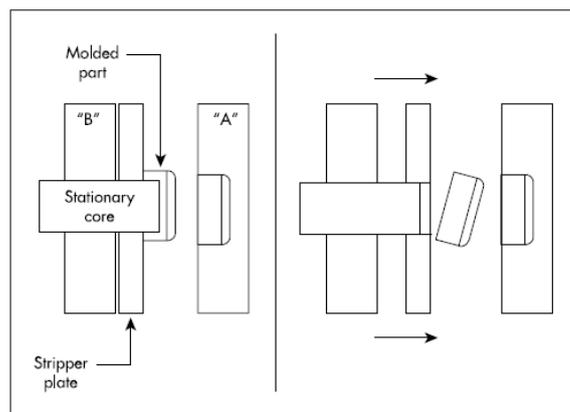
E = modulul eslastisitas bahan (N/mm²)

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

L = panjang *ejector* (mm)

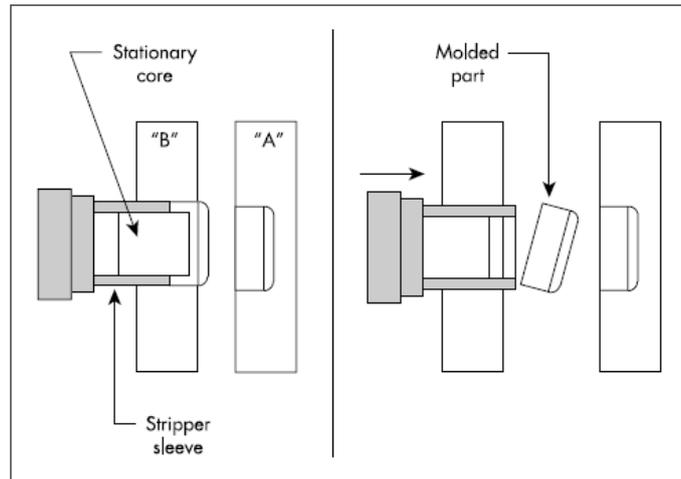
2. *Stopper ejector systems*

Ketika ada situasi dimana sistem pin ejektor standar tidak dapat dimanfaatkan karena pinnya sangat kecil sehingga bisa merusak bagian cetaknya, atau hanya memiliki tempat terbatas untuk menempatkan pin ejektor standar. Pada saat seperti ini, solusi menggunakan *stopper ejector systems* baik digunakan untuk memecahkan masalah. Ada dua versi *stopper ejector systems* yaitu berbentuk *sleeve* dan *plate*. (sumber: Bryce, 1998: 85-86) Ini ditunjukkan pada gambar 2.16. dibawah ini.



Gambar 2.16 *Stopper plate ejection* (Bryce, 1998)

Yang bertugas mengeluarkan produk adalah *plate stopper* berbeda dengan ejeksi setandar yang mengeluarkan produk adalah *pin ejector*. Dapat dilihat pada gambar 2.17. di bawah ini

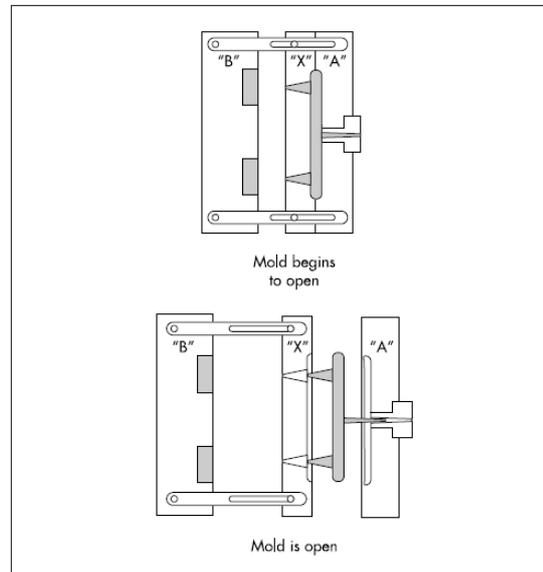


Gambar 2.17 *Stopper sleeve ejection* (Bryce, 1998)

Di bagian *sleeve ejection* yang bergerak mengeluarkan produk adalah *Stopper sleeve* lihat pada gambar 2.17

3. *three-plate system with delayed ejection*

Sistem ini digunakan pada *three-plate mold* biasanya untuk memisahkan antara produk dengan *gate* dan *runner*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.18. di bawah ini



Gambar 2.18. *Stopper sleeve ejection* (Bryce, 1998)

Adapun rumus perhitungan diameter *screw* untuk menahan *stopper* pada saat menahan gaya buka cetakan

Rumus

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

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

Keterangan

F_s = gaya geser (N)

d_i = diameter ijin (mm)

n = jumlah baut

τ = tegangan geser pada material (N/cm²)

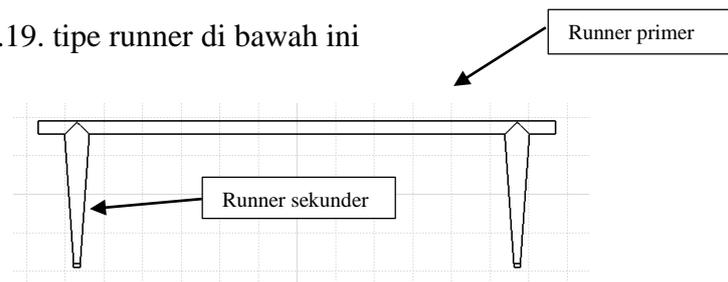
2.2.4.5. Runner Sistem

Sistem runner mengarahkan cairan plastik setelah melewati sprue bushing ke dalam rongga cetak atau mold kemudian membentuk produk. Disebut runner Karena cairan plastik berjalan di sepanjang saluran yang diarahkan ke dalam rongga cetakan dasar. (Bryce, 1998: 95)

Didalam sistem runner, runner sendiri memiliki 2 tipe yaitu runner primer dan runner skunder.

- *Runner* primer adalah runner sebelum runner sekunder dan mengalirkan cairan dari sprue.
- *Runner* sekunder adalah runner yang langsung mengarah ke produk.

Gambar 2.19. tipe runner di bawah ini



Gambar 2.19. Tipe *runner*

Saat merancang sistem runner, ada tiga pertimbangan utama yaitu sebagai berikut:

- 1) Bentuk runner
- 2) Tata letak runner
- 3) Dimensi runner

Adapun rumus mencari diameter runner sebagai berikut

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

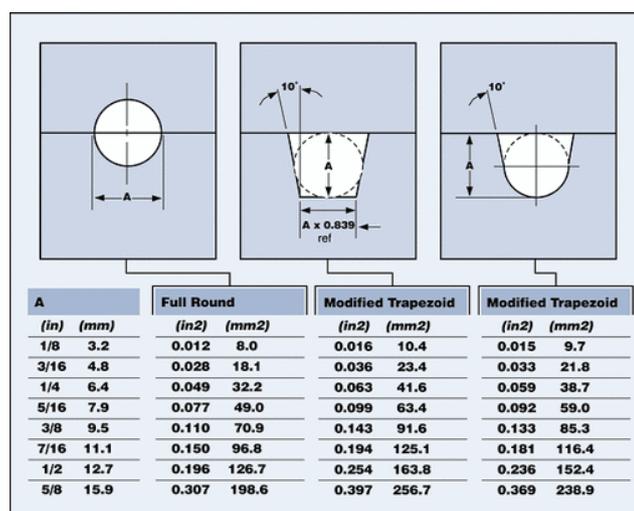
Keterangan

D = diameter *runner* (mm)

W = berat produk (g)

L = panjang *runner* (mm)

Bentuk runner mempengaruhi jumlah aliran material plastik dan penurunan tekanan (*preassure drop*) yang timbul akibat terjadinya kontak lapisan yang mengering pada bagian dinding runner. Jumlah material efektif yang mengalir dalam runner sebanding dengan ratio antara besarnya penampang potong runner terhadap keliling kontak pada penampang tersebut. Dapat dilihat pada gambar 2.20. di bawah ini



Gambar 2.20. Bentuk penampang *runner* (Bryce, 2017)

Kriteria untuk desain runner yang efisien adalah runner harus memberikan luas penampang maksimum dan kontak minimum dibagian tepi runner dari titik perpindahan panas. Seperti yang bisa dilihat, jenis runner modified trapesium bulat dan trapesium adalah dua yang paling baik digunakan, sedangkan rasio yang dimiliki oleh sistem setengah lingkaran kurang baik karena rasio kecil. Seiring meleleh plastik yang berlangsung melalui runner, lelehan yang menyentuh permukaan tepi runner cetakan akan dingin dengan cepat akibat Penurunan suhu. Material tersebut akan melewati tepi runner yang sudah padat karena konduktivitas rendah yang dimiliki termoplastik, Bahan bertindak sebagai insulasi dan menjaga suhu di dalam aliran lelehan tersebut. (sumber: Goodship, 2004: 51)

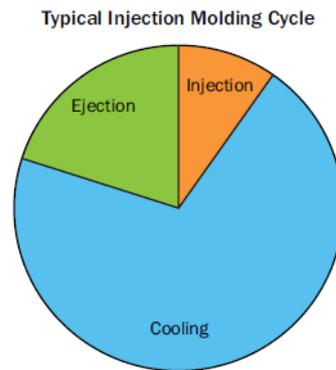
2.2.4.6. Cold Runner

Pada bahan termoplastik, cetakan cold runner mengacu pada bentuk cetakan di mana runner didinginkan, dipadatkan, dan dikeluarkan bersama bagian produk didalam cetakan, hampir 70% cold runner digunakan di setiap cetakan. Pembuatan yang tidak terlalu rumit dan harga tidak terlalu mahal dibandingkan hot runner menjadi alasan cold runner masih sering digunakan. Sistem runner dalam cetakan cold runner biasanya terdiri dari sprue, runner dan gate. Dalam cetakan single cavity, cetakan rongga umumnya ditempatkan di tengah mold, dan kemudia sprue mengantarkan lelehan matrial plastik langsung ke pusat cetakan rongga. Dalam cetakan multi cavity, lelehan matrial plastik dari sprue masuk ke dalam runner, yang kemudian diteruskan gate menuju rongga cetak.

Cold runner digunakan dalam cetakan Untuk bahan reaktif seperti termoset dan rubber. Berbeda dengan cetakan panas yang disimpan Pada temperatur 160-180 °C, cold runner harus dijaga pada temperatur 80-120 °C agar materialnya tidak bereaksi dini di dalam runner. (Georg dkk, 1999: 144)

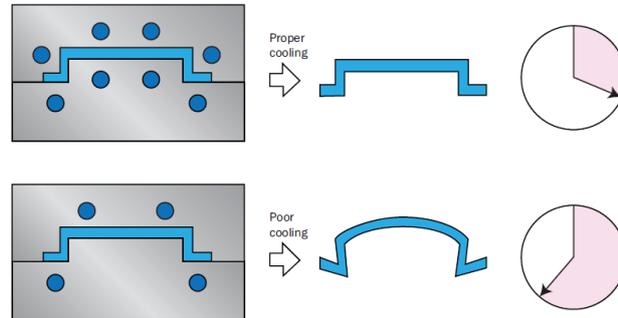
2.2.4.7. Mold Cooling

Pendingin cetakan dapat mencapai lebih dari dua pertiga dari total waktu siklus dalam produksi bagian termoplastik injeksi. Gambar 8 menggambarkan hal ini. Pendinginan yang efisien Desain sirkuit mengurangi waktu pendinginan, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Bahkan, Pendinginan seragam meningkatkan kualitas bagian dengan mengurangi tegangan dan mempertahankan residu akurasi dan stabilitas dimensi lihat Gambar 2.21 (Shoemaker, 2006: 153)



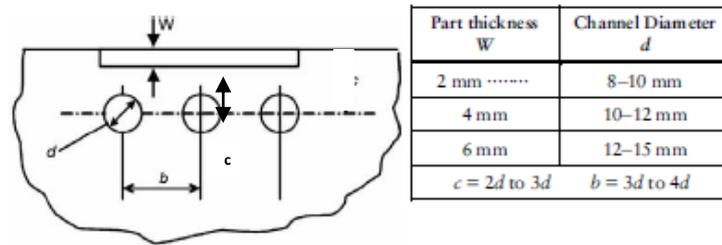
Gambar 2.21. Siklus waktu Injection molding
(Shoemaker, 2006)

Pendinginan yang tepat dan efisien meningkatkan kualitas dan produktivitas bagian. Oleh karena itu adapun tata letak cooling memperhatikan bentuk produk untuk meminimalisasi cacat produk Adapun gambar 2.22. dapat dilihat di bawah ini Pendinginan yang tepat dan efisien meningkatkan kualitas dan produktivitas bagian.



Gambar 2.22. Penempatan cooling yang efisien
(Shoemaker, 2006)

Adapun rumus mencari jarak *cooling* dengan produk dan jarak antar *cooling* dapat dilihat pada gambar 2.23. dan keterangan di bawah ini

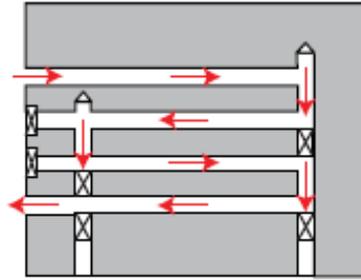


Gambar 2.23. perhitungan jarak *cooling* dengan produk dan jarak antar *cooling* (jones, 2008)

Cooling mold memiliki 3 jenis yaitu

- Cooling seri

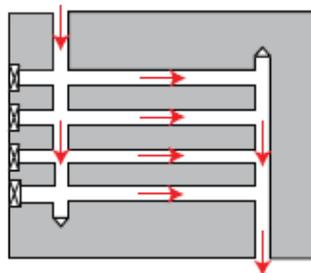
merupakan saluran pendingin yang terhubung dalam satu penampang atau lubang dari saluran masuk pendingin ke bagian keluar saluran. Pendinginan jenis saluran ini adalah yang paling umum direkomendasikan dan digunakan, jika saluran pendingin berukuran seragam, pendinginnya bisa mempertahankan laju alir turbulennya (full) dengan seluruh panjangnya. Aliran turbulen memungkinkan Panas ditransfer lebih efektif. dalam aliran turbulen, perpindahan massa ke arah radial memungkinkan panas dipindahkan oleh konduksi dan konveksi. Akibatnya, efisiensi meningkat drastis Namun, Anda harus berhati-hati untuk meminimalkan kenaikan suhu dari pendingin karena pendingin akan mengumpulkan semua panas di sepanjang seluruh saluran pendinginan chanel. (Shoemaker 2006: 157) contoh saluran seri pada gambar 2.24. di bawah ini



Gambar 2.24. Saluran cooling seri
(Shoemaker, 2006)

- Cooling paralel

Karena karakteristik aliran sejajar, laju aliran sepanjang channel sehingga pendinginan Saluran akan berbeda karena perbedaan masing-masing temperatur pendingin aliran pada masing-masing saluran. Tingkat aliran bervariasi yaitu dari inlet pendinginan menuju outlet pendingin semakin meningkat hal ini menyebabkan efisiensi perpindahan panas dari cetakan ke saluran pendingin kurang efektif. Sehingga pendinginan cetakan tidak akan seragam dengan pendinginan jenis paralel. (Shoemaker, 2006: 156) gambar 2.25. di bawah ini menjelaskan pendingin jenis paralel



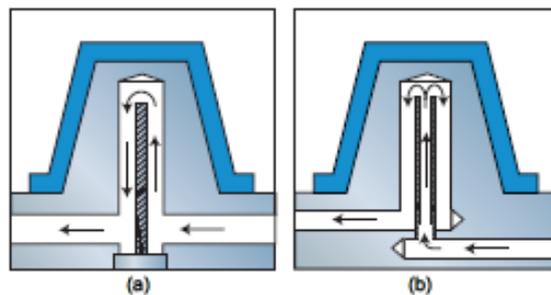
Gambar 2.25. Saluran cooling Paralel
(Shoemaker, 2006)

- *Baffle* dan *Bubbler*

Bagian dari pendinginan yang mengalihkan aliran pendingin ke daerah yang memerlukan pendinginan. Saluran pendingin normal biasanya dibuat lubang langsung melalui rongga cetakan dan inti. *Baffles* dan *bubblers* merupakan solusi terakhir pendinginan produk yang apabila menggunakan pendinginan biasa tidak dapat diatasi.

Baffle adalah saluran pendingin yang dibor tegak lurus pada saluran pendingin. dengan bentuk plat pipih yang memisahkan satu saluran pendinginan menjadi dua saluran setengah lingkaran. Air pendingin mengalir di satu sisi plat dari saluran masuk pendinginan, membalikkan ujung ke sisi keluar pendinginan dari *baffle*.

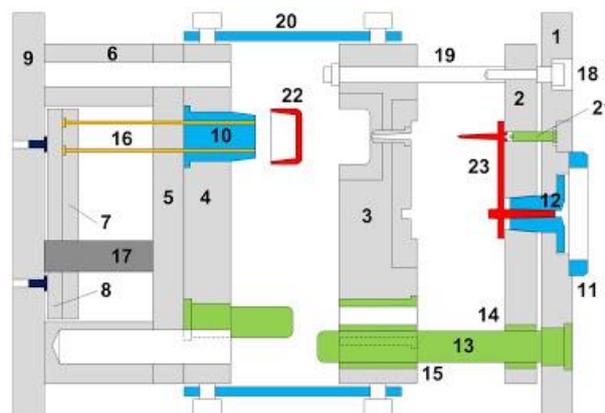
Bubbler hampir sama dengan *baffle* yang berbeda pada bentuk pemisah alirannya. *Bubbler* menggunakan pemisah berbentuk tabung kecil. Jadi pendingin mengalir ke bagian bawah tabung dan air pendingin keluar dari atas, seperti halnya air mancur, kemudian mengalir turun di sekitar bagian luar tabung untuk melanjutkan alirannya melalui Saluran pendingin. (Shoemaker, 2006: 157-159) gambar 2.26. dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.26. (a) *baffle* (b) *bubbler*
(Shoemaker, 2006)

2.2.4.8. Konstruksi *Three-Plate Mold*

Mold memiliki beberapa konstruksi salah satunya adalah konstruksi *Three-Plate Mold*. *Three-Plate Mold* yaitu sebuah sistem mold yang memisahkan antara runner dan produk secara langsung ketika mold terbuka, sehingga *runner* yang sebelumnya menempel dengan produk dapat langsung lepas dengan sendirinya tanpa ada proses lain. Pada gambar 2.27. di bawah ini kita dapat melihat konstruksi dari *Three-Plate Mold*.



Gambar 2.27. Konstruksi *Three-Plate Mold*
(Wijaya, Hadi. 2010)

Keterangan Gambar Konstruksi Dasar Mold 3 Pelat.

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Top clamping plate</i> , yang diikat dengan baut kepada <i>injection machine</i> | 7. <i>Ejector plate</i> |
| 2. <i>Runner stopper plate</i> | 8. <i>Ejector retainer plate</i> |
| 3. <i>Cavity plate</i> | 9. <i>Bottom clamping plate</i> , yang diikat dengan baut kepada <i>Injection machine</i> |
| 4. <i>Core plate</i> | 10. <i>core block</i> , tergantung jumlah produk yang akan dibuat |
| 5. <i>Core back-up plate</i> | 11. <i>Locating ring</i> |
| 6. <i>Spacer block</i> | |

- | | |
|--|---|
| <p>12. <i>Sprue bush</i></p> <p>13. <i>Support pin</i>, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris</p> <p>14. <i>Guide pin bushing</i>, mengikuti jumlah <i>support pin</i></p> <p>15. <i>Guide pin bushing</i>, mengikuti jumlah <i>support pin</i></p> <p>16. <i>Ejector</i>, jumlah dan bentuk sesuai kebutuhan dan design produk</p> | <p>17. <i>Support</i>, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris</p> <p>18. <i>Stopper bolt</i>, mengikuti jumlah Puller Bolt</p> <p>19. <i>Puller bolt</i>, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris</p> <p>20. <i>Chain</i>, berjumlah 4 buah pada posisi seimbang</p> <p>21. <i>Runner lock pin</i>, mengikuti jumlah <i>Gate</i> yang digunakan</p> <p>22. <i>Product</i></p> <p>23. <i>Runner</i></p> |
|--|---|

Secara umum mold plastik terdiri dari 2 tipe, yaitu 2 *plate type mold* (*mold tipe 2 Pelat*) dan 3 *plate type mold* (*mold tipe 3 pelat*). 2 *plate type* terdiri dari *cavity plate* dan *core plate*, sedangkan untuk 3 *plate type* ditambah *runner plate*.

Pada 3 *plate type mold*, *cavity plate* berdiri sendiri, namun ketika *mold terbuka* *cavity plate* masih bergantung pada *mold top clamping plate* tepatnya pada *support pin*. *sprue bush* terpasang diantara *runner plate* dan *mold top clamping plate*. *Top clamping plate* pun terdapat *locating ring*, sebagai tempat *sprue bush* dan mesin injeksi.

Cavity plate adalah bagian plat pembentuk *produk*, sehingga permukaan yang membentuk produk diperlakukan secara khusus. Seperti diperlakukan *polish* sehingga permukaannya sangat halus atau diperlakukan *etching* dan *sand blash* sehingga membentuk permukaan yang mengkilap. Sehingga tidak heran bila *cavity plate* diperlakukan secara istimewa dan sangat hati-hati ketika menanganinya.

Pada sisi *core plate* terdapat susunan *ejector* yang mengikuti lekuk dan bentuk *core plate* sesuai dengan produk yang akan dibuat. Susunan *ejector* ini berfungsi untuk mendorong produk ketika selesai proses injeksi, dengan demikian *design core plate* dan *cavity plate* harus dibuat sedemikian rupa sehingga ketika *mold* terbuka, maka produk harus melekat pada sisi *core plate*. Karena harus mengikuti bentuk produk maka bentuk *ejector* bermacam-macam, ada yang berpenampang pipih (*blade ejector*), bulat (*pin ejector*), dan bulat selongsong (*sleeve ejector*). Namun ada juga yang dibentuk secara khusus mengikuti permukaan luar produk seperti bentuk *striper plate ejector*

Secara umum 3 *plate type mold* menghasilkan produk yang sudah terpisah dengan *runner* (aliran material dari *sprue bush* dan setelahnya. tentunya dengan aplikasi *gate* yang biasa disebut *pin point gate*. pada saat *mold* terbuka, posisi *runner* harus tetap melekat pada *runner plate* dengan *runner lock pin* sebagai pengunci *runner* pada setiap *gate* nya. (Sumber: Wijaya, 2010)

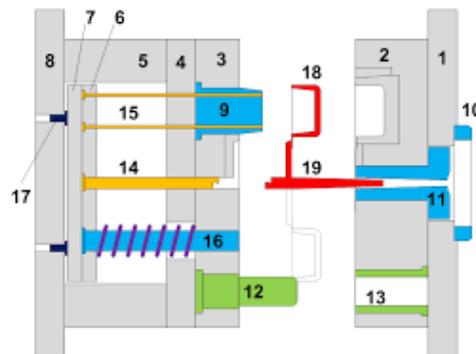
Mold ini biasa digunakan pada produk yang memiliki *gate* pada bagian tengah produk untuk mencapai aliran seimbang. (Sumber: Jones, 2008: 271)

2.2.4.9. Matrik Perbedaan Sistem Two-Plate Mold Dengan Three-Plate Mold

Cetakan *injection molding* dapat dikategorikan menjadi dua kategori utama yaitu *two-plate mold* dan *three plate mold*. setiap jenis kategori memiliki desain yang berbeda fungsi dan struktur cetakan. Jenis cetakan tergantung pada bentuk produk, fungsi dan kapasitas produksi, biaya fabrikasi cetakan juga tergantung pada jenis cetakan.

1. Sistem *Two-Plate Mold*

Sistem *two-plate mold* adalah sistem cetakan yang paling sederhana. Biasanya bentuk *gate* pada cetakan berjenis *side gate* dan *sprue gate* kemudian letak *gate* biasanya langsung didalam *plate cavity* kemudian langsung *runner* dan *sprue* tidak memiliki *runner plat*, oleh karena itu produk yang keluar bersamaan dengan *runner* dan *gate*. Gambar 2.28. dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.28. Sistem *Two-Plate Mold*
(Wijaya, 2010)

Keuntungan cetakan sistem *two-plate mold*

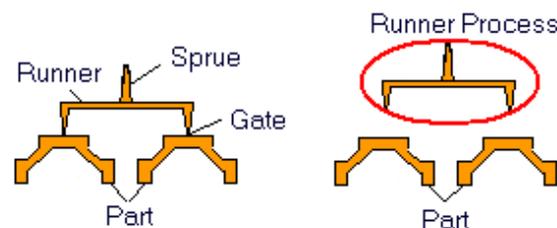
- Biaya pembuatan lebih murah
- Bentuk cetakan yang lebih sederhana
- Mudah mengatur parameter proses mesin injeksi pada saat proses produksi
- Perawatan mudah dilakukan
- Waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan cetakan lebih pendek
- Mudah dalam pemasangan cetakan
- Sistem ejsksi lebih sederhana

Kerugian cetakan sistem *two-plate mold*

- *Runner* dan produk tidak dapat terpisah secara otomatis, memerlukan proses untuk pemotongan secara manual
- Letak *gate* lebih jelas terlihat membekas setelah pemotongan manual

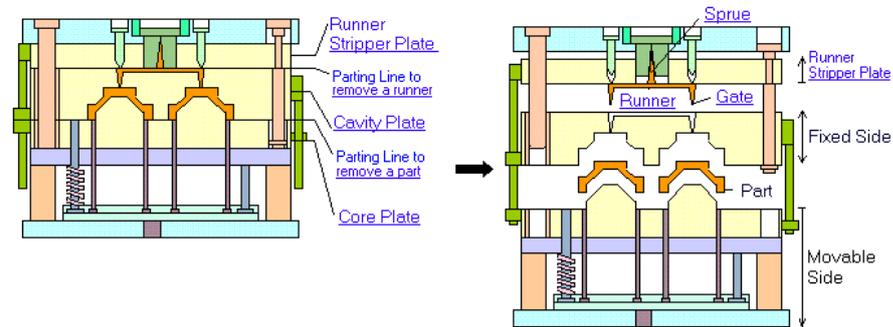
2. Sistem *Three-Plate Mold*

Sistem *three-plate mold* adalah sebuah sistem *mold* yang memisahkan antara *runner* dan produk secara langsung ketika *mold* terbuka, sehingga *runner* yang sebelumnya menempel dengan produk dapat langsung lepas tanpa adanya proses lain. Gambar *runner* terpisah dengan produk dapat dilihat pada gambar 2.29. di bawah ini



Gambar 2.29. *runner* terpisah dengan produk (*part*)
(Muttamara, Apiwwat. 2001)

Sistem *three-plate mold* memiliki sistem yang lengkap dibandingkan dengan sistem *two-plate mold*. Gambar 2.30. Sistem *three-plate mold* dapat dilihat dibawah ini



Gambar 2.30. Sistem *three-plate mold*
(Muttamara, Apiwwat. 2001)

Keuntungan cetakan sistem *three-plate mold*

- *Runner* dapat langsung terpisah secara otomatis ketika cetakan terbuka
- Waktu siklus bagian produksi bisa dikurangi (tidak perlu memotong *runner* secara manual)
- Mengurangi biaya produksi

Kerugian cetakan sistem *three-plate mold*

- Bentuk cetakan lebih rumit
- Biaya pembuatan cetakan lebih mahal
- Pembuatan cetakan memakan waktu yang cukup lama