

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini dijelaskan mengenai penelitian terdahulu yang berhubungan dengan perancangan *mold* dan perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang serta uraian teori yang dapat memberikan pemahaman tentang perancangan dan pembuatan alat peraga *mold*.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Beberapa contoh penelitian mengenai perancangan *mold*, adalah beberapa penelitian yang dilakukan Sunaryo (2015), Wibawa (2011), dan Yulianto dan Prasetyo (2014).

Penelitian yang dilakukan Sunaryo (2015) berkaitan dengan perancangan *runner* pada *mold base* produk *PHR-11* untuk mengurangi jumlah material terbuang untuk studi kasus di PT. Semyung Prima. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang *runner* pada konstruksi *mold* baru yang dapat mengurangi sisa material beserta hasil analisis biaya penekanan kerugian bagi perusahaan dan mendapatkan hasil simulasi rancangan *runner* pada konstruksi *mold* untuk memverifikasi bahwa rancangan dapat dioperasikan secara optimal sebelum melakukan proses pembuatan *mold*.

Penelitian yang dilakukan Wibawa (2011) adalah perancangan *mold base* *Yo-Yo* tipe 1A pada PT. Yogyakarta Presisi Tekniktama Industri. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan rancangan *mold base* dengan mempertimbangkan proses permesinan, perakitan dan jumlah komponen yang digunakan tanpa mengurangi permintaan pengguna, mampu dikerjakan dengan *mold base* rancangan dan mengurangi biaya pembuatan.

Penelitian yang dilakukan Yulianto dan Prasetyo (2014) adalah merancang *mold* produk knob regulator kompor gas pada proses *injection molding*. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan desain usulan *mold* untuk proses pembentukan produk plastik knob regulator kompor gas yang memiliki kapasitas produksi yang lebih banyak, serta dapat membandingkan antara *mold* yang telah ada dengan desain usulan dari segi kapasitas produksi, biaya investasi, dan biaya produksi agar menjadi pertimbangan layak atau tidaknya *mold* usulan dibuat.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Penelitian sekarang adalah perancangan alat peraga *mold* yang ditujukan pada Universitas Atma Jaya. Alat peraga *mold* dilakukan realisasi oleh mahasiswa dengan menggunakan mesin perkakas yang ada di Laboratorium Teknologi Manufaktur, nantinya akan dijadikan modul praktek untuk mahasiswa pada mata kuliah Proses Manufaktur. Penelitian ini bertujuan mendapatkan rancangan produk rakitan berupa alat peraga *mold* yang dapat dikerjakan sebanyak 5 kali pertemuan dan juga dikerjakan menggunakan mesin yang ada di Laboratorium Teknologi Manufaktur. Penelitian sebelumnya dari Sunaryo, Wibawa, dan Yulianto & Prasetyo dapat membantu untuk mengembangkan ide-ide pada penelitian ini sesuai tujuan dari masing-masing penelitian sebelumnya. Tujuan tersebut diantaranya pertimbangan proses permesinan, perhitungan biaya mesin untuk realisasi produk dan jumlah komponen yang digunakan. Metode yang digunakan untuk menghasilkan desain *mold* ini adalah metode kreatif. Perencanaan perhitungan waktu permesinan menggunakan *software PowerMill*, perhitungan biaya permesinan menggunakan daftar harga mesin per jam dari Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Rancangan gambar desain 3D menggunakan *software Solidworks*, serta untuk menghasilkan gambar 2D menggunakan *software AutoCAD*.

Tabel 2.1. Perbedaan Penelitian Dahulu dengan Penelitian Sekarang

No.	Deskripsi	Penelitian			
		Wibawa (2011)	Yulianto & Prassetiyo (2014)	Sunaryo (2015)	Penelitian saat ini (2017)
1	Obyek Penelitian	Perancangan dan simulasi konstruksi <i>injeciton mold</i> baru	Perancangan <i>mold</i> produk knob regulator kompor gas	Perancangan <i>yo-yo</i> dan <i>mold base yo-yo</i> tipe 1A	Perancangan <i>mold</i> sebagai alat peraga pembelajaran
2	Metode Penelitian	Perencanaan diagram alir	<i>Verein Deutsche Ingenieuer 222</i> (VDI 2222)	Metode kreatif	Metode kreatif
3	Tool Penelitian	<i>PowerShape, AutoCAD, Moldflow insight V5, dan Yudo Catalog</i>	<i>Solidworks Plastic 2013</i>	<i>PowerShape, PowerMill, dan AutoCAD</i>	<i>Solidworks, AutoCAD, dan PowerMill</i>
4	Output Penelitian	Rancangan konstruksi <i>mold</i> baru yang mengurangi sisa material	Rancangan <i>mold</i> untuk produk plastik knob regulator kompor gas	Rancangan <i>yo-yo</i> tipe 1A dan <i>Mold Base</i> untuk <i>yo-yo</i> tipe 1A	Rancangan alat peraga <i>mold</i> untuk membantu proses pembelajaran

2.2. Dasar Teori

Supaya penelitian yang dilakukan dapat berjalan dengan baik, maka penelitian ini perlu adanya dasar teori yang digunakan sebagai acuan dan membantu penelitian dalam menjawab setiap permasalahan yang ada. Dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

2.2.1. Metode Perancangan

Metode perancangan merupakan prosedur, teknik-teknik, bantuan-bantuan atau peralatan untuk merancang. Metode perancangan menggambarkan beberapa macam aktivitas dengan jelas yang memungkinkan perancang menggunakan dan mengkombinasi proses perancangan secara keseluruhan. Metode perancangan yang konvensional biasanya melalui prosedur menggambar. Metode perancangan mengalami perkembangan beberapa tahun ini, dimana prosedurnya tidak lagi konvensional dan lebih dikelompokkan bersama yang dikenal dengan "Metode Perancangan" (Cross, 1994).

Tujuan metode perancangan adalah membawa prosedur rasional ke dalam proses perancangan. Metode ini menggunakan pemikiran yang masuk akal sehingga perancang diharapkan mencari solusi terbaik dalam perancangan. Metode perancangan dapat dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu metode kreatif dan metode rasional (Cross, 1994).

2.2.1.1. Metode Kreatif

Metode kreatif adalah salah satu metode perancangan yang dapat memunculkan ide kreatif, metode ini mengajak perancang untuk mencari aliran ide dengan cara menghilangkan batas mental yang menghambat munculnya ide kreatif serta memperluas area pencarian solusi. Metode kreatif menurut (Cross, 1994) memiliki langkah-langkah dalam melakukan perancangan, antara lain:

a. *Brainstorming*

Brainstorming merupakan langkah metode kreatif yang dilakukan untuk mencari berbagai ide-ide dalam merancang. *Brainstorming* biasanya dilakukan oleh sekelompok orang yang berpengalaman dalam bidang yang dibahas. Diskusi tidak hanya dilakukan dengan orang yang berpengalaman di bidangnya, tetapi sebaiknya memasukkan orang lain yang terkait dengan masalah tersebut. Beberapa hal yang penting dalam *Brainstorming*, yaitu:

- i. Tidak boleh melakukan kritik saat diskusi
- ii. Mengumpulkan ide sebanyak-banyaknya
- iii. Ide singkat dan jelas
- iv. Ide gila atau unik bisa diterima
- v. Berusaha mengembangkan ide orang lain

Brainstorming sebaiknya dipandu oleh seseorang agar tujuan pencarian ide terarah (Cross, 1994).

b. Sinetik

Sinetik mirip seperti metode *brainstorming*. Perbedaannya, sintetik lebih mencoba untuk mengeluarkan sifat kritis dari anggotanya. Kelompok diharapkan dapat menuju ke sebuah solusi untuk menyelesaikan masalah. Berbeda dengan *brainstorming*, anggota kelompok boleh mengkritik pendapat anggota lain. Tidak menampung banyak ide, tetapi lebih pada penyelesaian masalah.

c. Perluasan Daerah Penelitian

Suatu kondisi biasa dari batas mental untuk berpikir kreatif adalah untuk mengambil batas tipis sampai dimana satu pemecahan itu dicari. Beberapa teknik kreativitas merupakan bantuan untuk memperluas area penelitian, yang meliputi transformasi, masukan acak (*random input*), dan perancangan banding (Cross, 1994).

d. Proses Kreatif

Pemikiran kreatif dapat dipikirkan secara spontan, muncul dengan sendirinya. Para ilmuwan psikologis menemukan pola yang sering terpikir saat memikirkan ide-ide kreatif, polanya adalah sebagai berikut:

- i. *Recognition* adalah pengakuan bahwa masalah itu ada.
- ii. *Preparation* adalah usaha yang dilakukan untuk memahami masalah.
- iii. *Incubation* adalah periode untuk meninggalkan pemikiran tersebut dalam pikiran, yang membuat alam bawah sadar seorang mulai bekerja.
- iv. *Illumination* adalah mulai memikirkan formulasi ide.
- v. *Verification* adalah kerja keras untuk mengembangkan dan menguji ide tersebut.

2.2.1.2. Morphological Chart

Morphological chart adalah suatu daftar atau ringkasan dari analisis perubahan bentuk secara sistematis untuk mengetahui bagaimana bentuk suatu produk

dibuat. Dalam bagan ini akan dibuat kombinasi dari berbagai kemungkinan solusi untuk membentuk produk-produk yang berbeda atau bervariasi.

Kombinasi berbeda dari sub solusi dapat dipilih dari bagan, sehingga memungkinkan untuk mencapai sebuah solusi baru yang belum teridentifikasi sebelumnya. *Morphological chart* berisi elemen, komponen, atau sub solusi yang lengkap sehingga dapat dikombinasikan (Cross, 1994).

Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

- a. Masalah yang akan dipecahkan harus dirumuskan seakurat mungkin.
- b. Identifikasi semua parameter yang mungkin ada.
- c. Buat diagram morfologi dengan parameter sebagai baris.
- d. Isi kolom dengan komponen yang berhubungan dengan parameter tertentu, komponen dapat ditentukan dengan menganalisis produk sejenis maupun dengan menggunakan prinsip baru.
- e. Gunakan strategi evaluasi (analisa baru dan pengelompokan parameter) sebagai batasan solusi utama.
- f. Ciptakan solusi dengan menggabungkan setidaknya satu komponen dari masing-masing parameter. [SEP]
- g. Hati-hati dalam mengevaluasi dan menganalisis solusi yang berkaitan dengan persyaratan desain, dan pilihlah beberapa solusi utama (minimal 3 solusi).
- h. Solusi utama yang dipilih akan dikembangkan secara rinci dalam bagian yang tersisa dalam proses desain. [SEP]

2.2.1.3. *Weighted Objective*

Metode *weighted objective* ini menyediakan cara untuk memperkirakan dan membandingkan alternatif perancangan yang menggunakan perbedaan pembobotan obyektif. Metode ini menetapkan pembobotan numerik untuk obyektif dan nilai numerik untuk melaksanakan alternatif perancangan yang diukur terhadap obyektif (Cross, 1994). Tujuan metode ini adalah untuk membandingkan nilai-nilai kegunaan usulan perancangan alternatif pada basis pelaksanaan terhadap perbedaan pembobotan obyektif.

Langkah-langkah dalam evaluasi alternatif menggunakan metode *weighted objective* adalah:

- a. Pilih kriteria berdasarkan persyaratan yang telah dilakukan dengan tim kreatif, pilihlah 3 sampai 5 konsep untuk diseleksi. [SEP]

- b. Menetapkan bobot untuk tiap kriteria, masing-masing kriteria harus sesuai dengan kebutuhan dari tim kreatif, untuk menentukan faktor bobot kriteria disarankan membandingkan tiap kriteria (peringkat bobot dapat berupa skala 1 sampai 5 atau memutuskan seluruh jumlah bobot misal 100 atau 1).
- c. Buatlah matriks dengan kriteria sebagai baris dan solusi sebagai kolom.
- d. Tentukan nilai atribut bagaimana solusi dapat memenuhi kriteria.
- e. Hitung nilai keseluruhan setiap konsep dengan menjumlahkan skor pada setiap kriteria.
- f. Solusi dengan skor tertinggi adalah solusi yang akan dipilih.

2.2.2. Solidworks

Menurut AppliCAD Indonesia (2014), *Solidworks* merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk membantu dalam proses desain suatu benda atau bangunan. Di Indonesia sendiri terdapat banyak perusahaan manufaktur yang mengimplementasikan perangkat lunak *solidworks*. Keunggulan *solidworks* dari *software* CAD (*Computer Aided Design*) lain adalah mampu menyediakan sketsa 2D yang dapat *upgrade* menjadi bentuk 3D. *Software* ini cukup mudah dalam penggunaannya karena memang dirancang khusus untuk pembuatan desain dari yang paling sederhana hingga yang paling rumit. *Solidworks* banyak digunakan untuk merancang roda gigi, mesin mobil, *casing* ponsel dan lain-lain. *Software* ini juga dapat digunakan untuk melakukan simulasi pada desain yang telah dibuat dengan *solidworks*. Fitur lainnya dalam *solidworks* antarlain analisis kekuatan pada desain secara sederhana dan pembuatan desain animasi.

2.2.3. AutoCAD

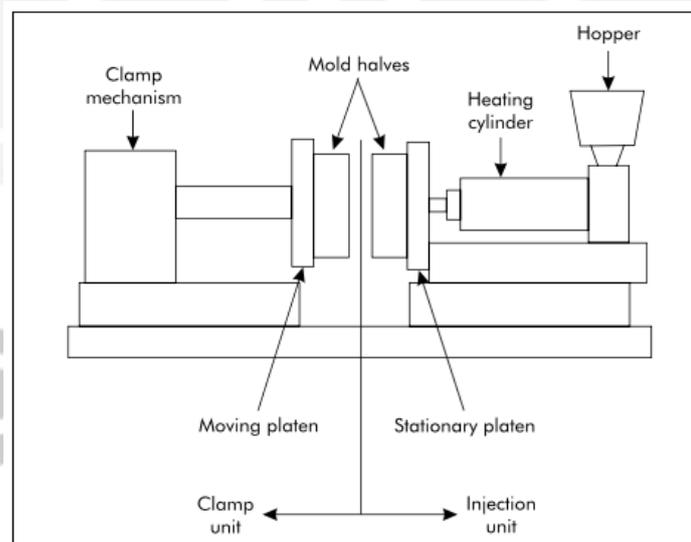
AutoCAD adalah *software* *Computer-Aided Design* (CAD) yang digunakan untuk desain dan perancangan 2-D dan 3-D. *AutoCAD* dikembangkan dan dipasarkan oleh *Autodesk Inc.* Pihak *Autodesk* telah mengeluarkan beberapa versi, namun pada dasarnya perintah-perintah pada *AutoCAD* adalah sama dan tidak memiliki banyak perbedaan hanya ada tambahan beberapa fitur yang lebih menarik. *File* yang disimpan dengan menggunakan versi *AutoCAD* tertentu juga dapat digunakan oleh beberapa *software* yang kompatibel, tetapi tidak semua *software* dapat berkomunikasi dengan *file* *.dwg ini. Kemampuan adaptasi penggunaan *AutoCAD* dan tingkat akurat gambar *AutoCAD* memungkinkan *AutoCAD* dapat digunakan dengan mudah. Beberapa fitur yang ditawarkan oleh *AutoCAD* seperti

menggambar toleransi geometris dan toleransi ukuran, merupakan pekerjaan tambahan dengan banyak *editing* di beberapa ukuran dalam satu gambar.

2.2.4. Injection Mold

Injection Mold merupakan proses pelunakkan material plastik karena dipanaskan yang menyebabkan leleh plastik itu mengalir ke dalam cetakan (*mold*) yang tertutup dan setelah material dingin akan mengeras dan membentuk produk tertentu. Pada proses injeksi, bagian yang sangat berpengaruh pada hasil produk adalah bagian *mold*. Hal ini karena *mold* merupakan rongga dari bentuk benda yang akan diproduksi.

Sejarah singkat, pada sekitar tahun 1800-an teknologi plastik mulai dikembangkan, tahun 1968 *John Wesley Hyatt* membuat *ball bilyard* dengan menginjeksikan *selluloid* ke dalam *mold*, pada tahun 1872, *John* dan *Isaiah Hyatt* mematenkan mesin *injection molding* untuk pertama kalinya, selanjutnya perkumpulan industri plastik dibentuk pada tahun 1937, yang dilanjutkan pembentukan perkumpulan *engineer* plastik pada tahun 1941 (Bryce, 1999).

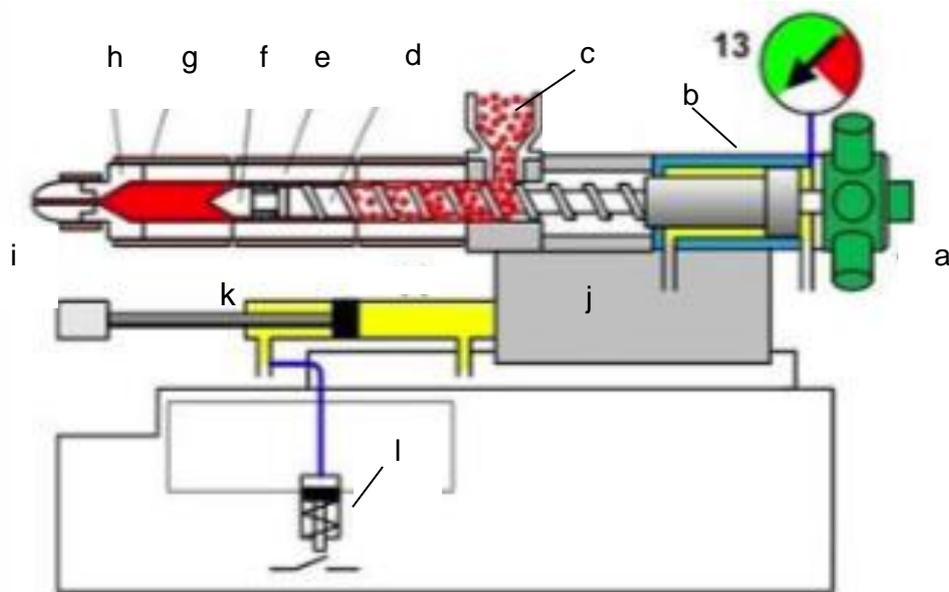


Gambar 2.1. Injection Molding

2.2.4.1. Injection Unit

Injection unit terdiri dari beberapa bagian tetapi fungsi utamanya adalah melelehkan dan mengalirkan material plastik proses injeksi ke dalam *mold*. Di dalam *injection unit*, terjadi perubahan material plastik yang awalnya padat menjadi cair. Hal ini dilakukan agar material plastik dapat diinjeksikan ke dalam *mold* sehingga plastik dapat dibentuk sesuai produk yang akan dibuat

(Teklehaimanot, 2011). Gambar 2.2. menunjukkan bagian-bagian dari *injection unit*.



Gambar 2.2. Injection Unit

Adapun fungsi dari bagian-bagian *injection unit* pada Gambar 2.2. adalah sebagai berikut:

- a. Motor Hidrolik berfungsi untuk memutar *screw*, ditunjukkan nomor 1.
- b. *Injection Cylinder* berfungsi untuk menggerakkan *screw* secara maju dan mundur, ditunjukkan nomor 2.
- c. *Hopper*, sebagai tempat material plastik sebelum masuk ke *barrel*.
- d. *Screw*, berfungsi sebagai *feeder* untuk menyuplai material dari arah belakang atau dari *hopper* dan juga sebagai pengaduk material plastik dalam keadaan cair sehingga pencampuran warna lebih merata.
- e. *Barrel* (Tungku), berfungsi memanaskan material plastik hingga mencair.
- f. *Torpedo* dan *Check Ring* atau *Check Valve*, berfungsi membuka aliran material pada saat *charging* dan menutup aliran material plastik pada saat injeksi berlangsung.
- g. *Heater Band*, pemanas elektrik dengan bentuk sabuk.
- h. *Cylinder Head*, penghubung antara *nozzle* dan *barrel*.
- i. *Nozzle*, sebagai jalur keluarnya material plastik yang telah dilelehkan menuju ke *mold*.

- j. *Carriage*, sebagai dudukan unit injeksi.
- k. *Injection Unit Cylinder*, berfungsi menekan *nozle* ke *sprue bush*.
- l. *Pressure Switch 2*, aktif pada tekanan minimal 100 kg/cm^2 sebagai konfirmasi untuk melakukan proses injeksi dan memastikan material plastik tidak akan bocor pada saat proses injeksi berlangsung.

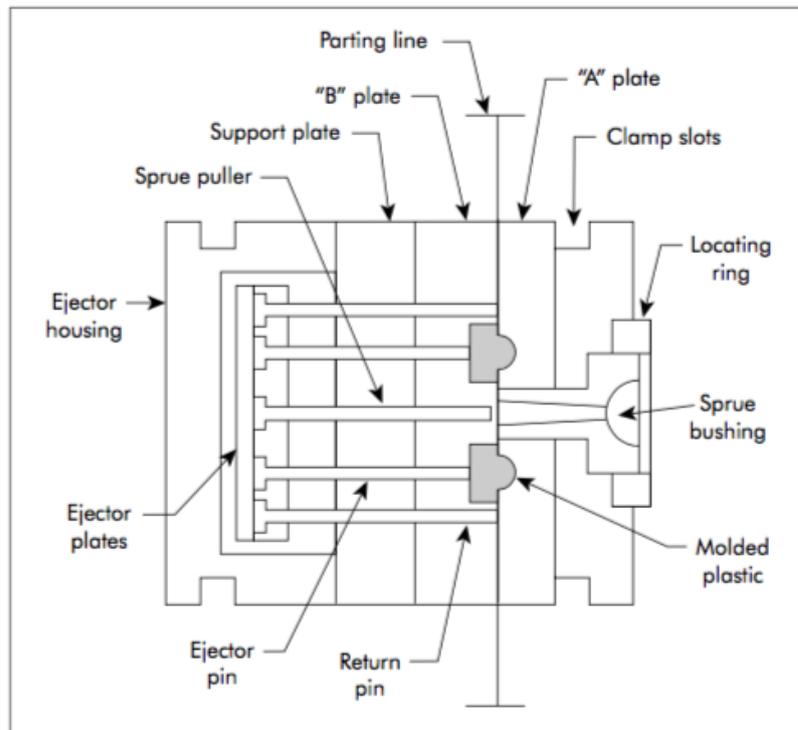
2.2.4.2. Clamping Unit

Clamping unit berfungsi untuk memegang atau mengatur gerakan dari *mold* unit, serta gerakan *ejector* saat melakukan proses pelepasan produk dari *mold* . Pada *clamping unit* , kita dapat mengatur berapa panjang langkah gerakan *molding* saat membuka, mengatur tekanan *clamping force* , yaitu tekanan untuk menutup *mold* agar dapat menahan material plastik yang diinjeksikan dan berapa panjang *ejector* harus bergerak untuk melepas produk. [1]

Pengertian dari *clamping force* adalah gaya yang dipergunakan untuk menahan tekanan injeksi pada saat langkah injeksi (mengisi rongga *mold*) dilakukan. Besaran mesin injeksi ditentukan dari kekuatan *clamping* (50 ton, 450 ton) dan besaran tekanan injeksi sesuai dengan kekuatan *clamping* .

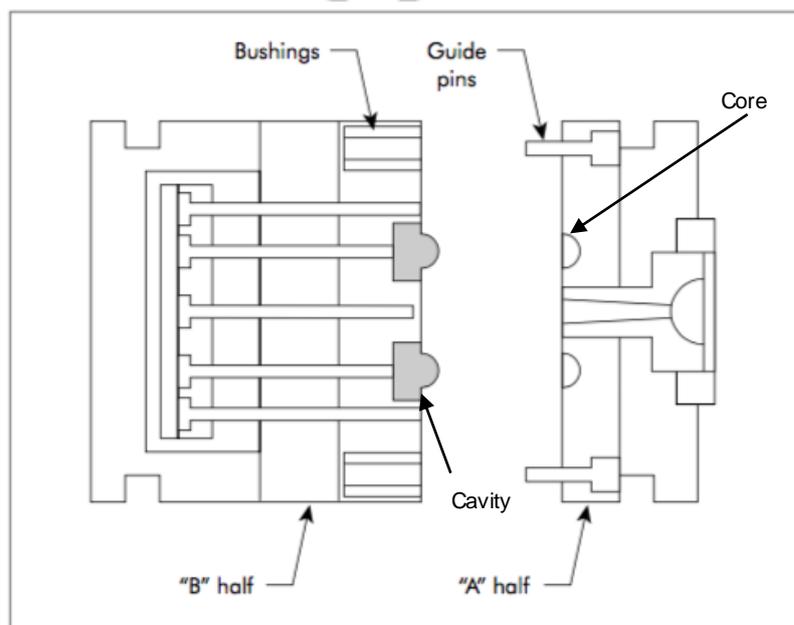
2.2.4.3. Molding Unit

Molding Unit tersusun dari beberapa komponen termasuk beberapa *platen* , *pins* , *bushing* , *pillars* , *ejector systems* dan masih banyak item yang digunakan. Secara garis besar, *molding unit* memiliki 2 bagian utama yaitu *core* dan *cavity* . Bagian *cavity* merupakan bagian cetakan yang berhubungan dengan *nozzle* pada mesin, sedangkan *core* merupakan bagian yang berhubungan dengan *ejector* (Bryce, 1999). Gambar 2.3. menggambarkan beberapa item sederhana dan letak posisi item pada sebuah *mold* .



Gambar 2.3. Basic Mold Base Components

Gambar 2.3. menunjukkan *mold* pada saat posisi tertutup. Ketika *mold* terbuka plat A dan B akan terpisahkan, bidang yang terpisahkan itu disebut *parting line*. Gambar 2.4. menunjukkan *mold* pada saat posisi terbuka.



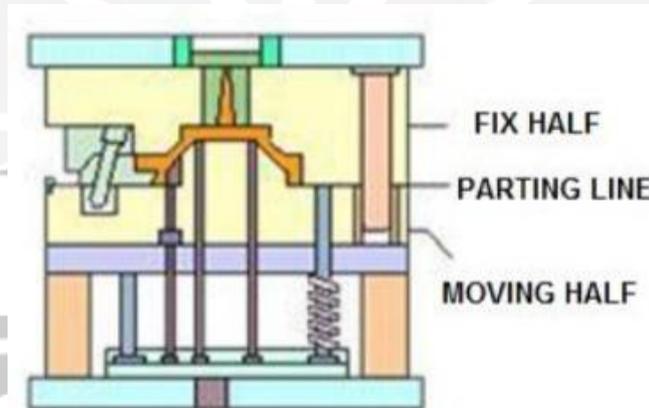
Gambar 2.4. Mold Terbuka

Berikut merupakan bagian-bagian dari suatu sistem *injection mold*:

a. *Standart Mold*

Standart mold merupakan tipe *mold* dasar yang merupakan jenis minimum untuk membuat *injection mold* untuk plastik. Karakteristik dari *standart mold* antara lain adalah:

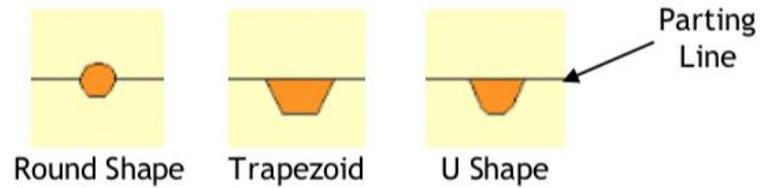
- i. *Fix half*, (minimal satu plat) biasa disebut *cavity side*, bagian ini adalah bagian yang diam ketika proses injeksi dilakukan. Bagian ini terdapat *sprue*, yaitu bagian bertemu dengan *nozzle* mesin. Bagian ini merupakan bagian yang mengalirkan bahan material plastik cair ke dalam *mold* untuk dicetak menjadi produk.
- ii. *Moving half*, bagian ini merupakan bagian yang bergerak saat *mold* membuka untuk melepaskan produk yang dicetak. Pada bagian ini terdapat *core* yang membentuk bagian dalam produk, kebalikan dari *cavity side*. Terdapat *ejector* yang berfungsi sebagai pelepas benda saat produk akan dilepaskan. *Ejector* menekan produk agar produk terlepas dari bagian *core*. Gambar 2.5. merupakan gambar *standart mold*.



Gambar 2.5. Gambar *Standart Mold*

b. *Parting Line*

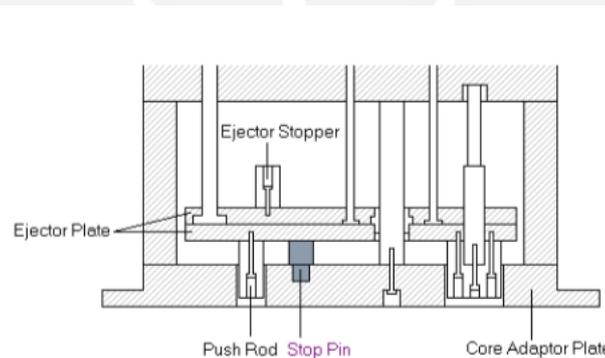
Parting line merupakan bagian pemisah antara *core* dan *cavity*. Biasanya disingkat *pl*. Permukaan *parting line* dibuat rata agar produk tidak *flash*. Peletakan *parting line* harus diperhatikan karena biasanya permukaan yang ada *parting line*-nya akan membekas pada produk, sebaiknya *parting line* diberikan pada bagian permukaan produk bagian bawah atau yang rata. Gambar 2.6. merupakan macam-macam bentuk dari *parting line*.



Gambar 2.6. Types of Parting Line

c. *Ejector Plate*

Ejector plate merupakan bagian yang membantu menggerakkan *ejector* maupun *return pin* saat mengeluarkan produk dari *mold*. Adanya *ejector plate* dan *ejector* dapat bergerak secara bersamaan untuk mengeluarkan produk. Saat *ejector plate* bergerak maju, produk dilepaskan dari *core*. Saat proses menutup *mold*, *return pin* akan mendorong *ejector plate* kembali ke posisi semula sehingga *ejector pin* akan mundur ke posisi semula. Gambar 2.7. menunjukkan bagian dari *ejector plate*.



Gambar 2.7. Bagian Ejector Plate

d. *Return Pin*

Pada waktu *closing mold*, *return pin* mengenai permukaan *parting line*, *ejector plat* terdorong mundur, dan *ejector pin* kembali ke posisi semula. Fungsi *return pin* adalah untuk menghindari goresan atau luka pada *mold* akibat terkena *ejector* yang belum mundur. Karena digunakan *siding*, maka sebaiknya menggunakan material yang telah di-*hardening* dengan kekerasan diatas 50hrc. Gambar 2.8. menunjukkan gambar *return pin*.



Gambar 2.8. Return Pin

e. Support Pillar

Support pillar memiliki fungsi untuk menyangga *cavity plate* atau *support plate* ketika proses injeksi berlangsung. *Support pillar* ini harus ada untuk *mold* yang memiliki tonase injeksi yang besar, jika tidak ada maka akan terjadi deformasi pada *cavity plate* atau *support plate*. Jumlah *support pillar* minimal dua akan tetapi juga ditentukan berdasarkan produk yang dicetak, semakin besar produk yang dicetak maka jumlah *support pillar* lebih banyak begitu sebaliknya. Gambar 2.9. menunjukkan gambar dari *support pillar*.



Gambar 2.9. Support Pillar

f. Ejector Guide Pin dan Ejector Guide Bush

Ejector guide pin disebut juga dengan papan pendorong *guide pin*, yang berperan sebagai *guide* (pemandu) *slide ejector plate*. *Ejector guide bush* berfungsi sebagai alat pendorong, maka materialnya dibuat dari bahan baku yang keras. *Ejector guide bush* disebut juga papan pendorong *guide bush*, bentuknya *cylinder* yang menempel pada *ejector guide bush* dan berfungsi untuk menentukan posisi *ejector guide pin*. Gambar 2.10. menunjukkan gambar dari *ejector guide pin* dan *ejector guide bush*.



Gambar 2.10. Ejector Guide Pin dan Ejector Guide Bush

g. *Ejector Pin*

Ejector pin berfungsi sebagai pendorong produk agar dapat dilepaskan dari bagian *core*. *Ejector pin* harus menggunakan material yang kuat dan tahan aus karena bagian ini sering bergesekan. Kekerasan yang dibutuhkan biasanya lebih dari 55 hrc. Untuk mengantisipasi timbulnya deformasi pada produk, sebisa mungkin daerah pendorong dibuat seluas mungkin. *Ejector pin* sebaiknya diberikan lebih dari 1 *pin*, agar daerah dorongnya merata sehingga dapat menghasilkan permukaan produk yang baik. *Ejector pin* berguna juga untuk mengeluarkan sisa gas maupun udara yang tersimpan dalam *mold* agar tidak terjadi *burning*. Gambar 2.11. merupakan gambar *ejector pin*. Berikut jenis dari beberapa *ejector pin*, antara lain:

i. *Pin Ejector*

Bentuk umumnya berupa batangan bulat dan panjang, sangat umum digunakan dibanyak *mold*.

ii. *Blade Ejector*

Ejector ini berbentuk tipis, lebar, dengan penampang persegi panjang, dan juga sangat umum digunakan dibanyak *mold*.

iii. *Sleve Ejector*

Bentuk *ejector* yang mengelilingi tepian produk atau bagian tertentu dari produk yang memang memerlukan *ejector* tipe ini. Bagian produk ini biasanya berbentuk silinder dengan tujuan agar mudah pada saat melepas produk dari *mold*.

iv. *Striper Ejector*

Ejector ini berbentuk pelat bersama dengan sisi *core* (*core plate*). Kontruksi *ejector* ini terbilang mahal karena resiko *flash reject* sangat besar, maka sangat diperlukan pengaturan dan dimensi yang akurat.



Gambar 2.11. Ejector Pin

h. *Guide Pin* dan *Guide Bush*

Merupakan komponen pada *molding unit* yang mengarahkan *core* dan *cavity* posisi yang tepat saat menutup. Posisi *core* dan *cavity* harus tepat agar produk yang dicetak memiliki kualitas yang baik, atau tidak bergeser saat proses injeksi dilakukan. Biasanya *guide pin* berjumlah 4 buah. *Guide bush* merupakan bagian yang akan meluncurkan *guide pin* agar mengurangi gesekan pada saat *mold* membuka atau menutup. Material yang diperlukan harus tahan aus dan memiliki kekerasan yang memadai dengan minimal kekerasan 55HRc ke atas. Gambar 2.12. merupakan gambar *guide bush* dan *guide pin*.



Gambar 2.12. Guide Bush dan Guide Pin

i. *Sprue Bush*

Sprue bush sebagai jalur mengalirnya lelehan material plastik dari *nozzle* menuju ke dalam cetakan *cavity-core*, terletak antara *nozzle* dan *runner system* dari *mold*. Lelehan plastik yang terbentuk di *sprue bush* ketika proses injeksi berlangsung

disebut *sprue*. Terdapat beberapa aturan dalam menentukan desain dari *sprue bush*, karena setiap *sprue bush* memiliki spesifikasinya sendiri tergantung desain *mold* dan desain produk itu sendiri. Gambar 2.13. menunjukkan gambar dari *sprue bush*.



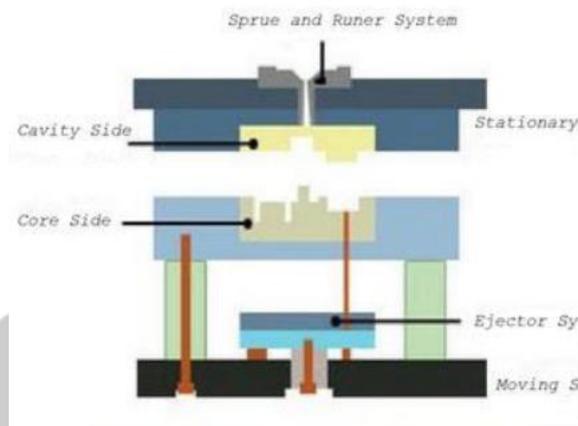
Gambar 2.13. Sprue Bush

2.2.4.4. Jenis Pelepasan Produk

Molding memiliki beberapa cara dalam melepaskan produk. Pelepasan produk tergantung pada bentuk maupun fungsi produk yang akan dicetak menggunakan *mold base* (Menges, Michaeli, & Mohren, 2001). Berikut merupakan jenis pelepasan produk injeksi *molding*:

a. Standard Mold Base

Pelepasan produk pada *standard mold base* menggunakan *ejector pin*. Produk yang telah diinjeksi akan didorong keluar oleh *ejector pin* saat *mold* terbuka. Pendorongan *ejector pin* ke arah pelepasan produk mendorong produk keluar sehingga produk terlepas dari bagian *core*. Pelepasan ini dengan menggunakan beberapa *ejector pin*. Dalam peletakan *ejector pin* dapat mempengaruhi hasil produk yang dicetak. *Ejector pin* cenderung meninggalkan bekas dorongan sehingga pendorongan harus dilakukan pada bagian produk yang tidak terlihat, agar bentuk produk tetap terjaga. Gambar 2.14. menunjukkan gambar jenis *mold* dengan *ejector pin*.



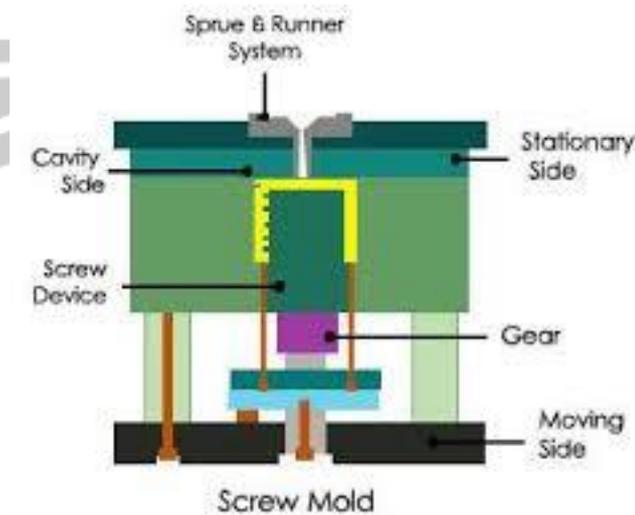
Gambar 2.14. Standard Mold Base

b. *Slider Mold*

Slider mold banyak digunakan pada konstruksi *mold* yang produk tidak dapat dilepas menggunakan *core* dan *cavity* biasa. Produk yang mempunyai *undercut* biasanya menggunakan *slider mold*. *Undercut* sendiri dapat dibedakan menjadi dua yaitu *undercut* dalam pada produk memiliki kontur pengunci di bagian dalam sedangkan untuk *undercut* luar, pada produk terdapat lubang pada sisi samping.

i. *Undercut Dalam*

Konstruksi *mold* pada *undercut* dalam terdapat *slide unit* yang berada pada *ejector set* yang memungkinkan *core pin* untuk bergerak bebas ke arah *ejector*. Gambar 2.15. menunjukkan gambar konstruksi *ejector set*.



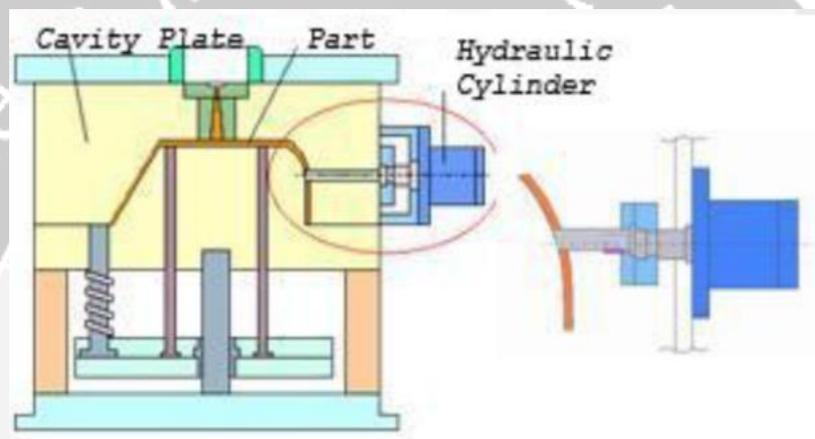
Gambar 2.15. Kontruksi *Mold* dengan *Ejector Set*

ii. *Undercut* Luar

Undercut yang dibentuk dengan cara meletakkan *slider mold* pada sisi *cavity* atau *core*. Berikut beberapa jenis dari *slider mold* berdasarkan penggerak *slide core*nya:

1. *Hydraulic Slider*

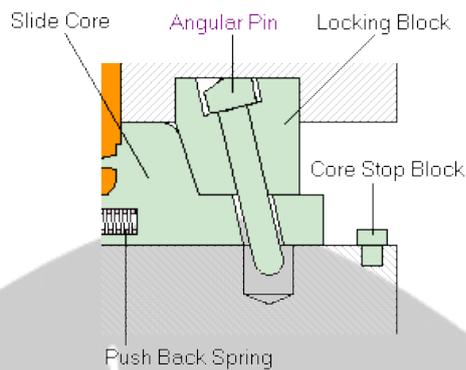
Hydraulic slider memiliki cara kerja dengan cara menarik *slider* dari samping sehingga produk yang memiliki *undercut* samping dapat terlepas dari *core*. Gambar 2.16. menunjukkan konstruksi *mold* dengan menggunakan *hydraulic slider*.



Gambar 2.16. Kontruksi *Mold* dengan *Hydraulic Slider*

2. *Angular Pin*

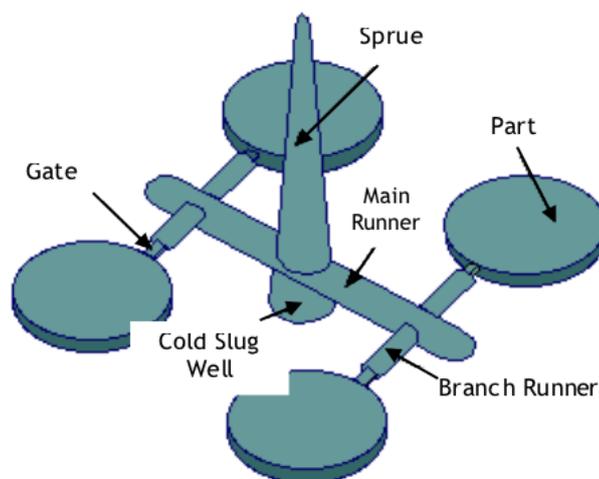
Istilah *angular pin* digunakan untuk menyebut pin miring yang digunakan untuk menggerakkan *slide core*. Sudut kemiringan dari *angular pin* maksimal 20° , dengan adanya sudut kemiringan tersebut *slider* akan bergerak ke arah *horizontal*. Gaya akan dipindahkan ke arah *horizontal* karena bagian miring tersebut, pada saat *mold* terbuka *angular pin* akan menggeser *slider* sehingga produk yang memiliki *undercut* dapat terlepas. Gambar 2.17. menunjukkan konstruksi *mold base* dengan *angular pin*.



Gambar 2.17. Kontruksi *Mold* dengan *Angular Pin*

2.2.4.5. *Runner System*

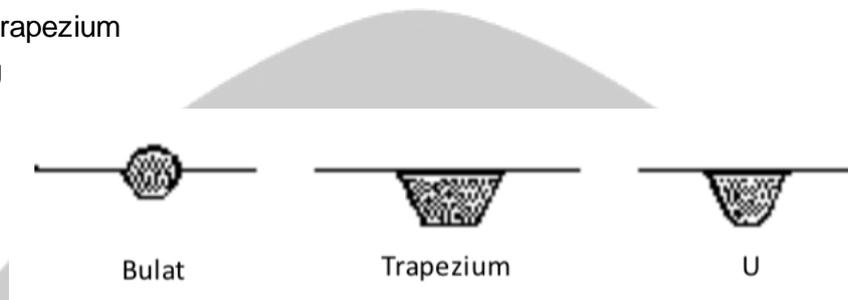
Runner system sebagai saluran untuk mengalirkan lelehan plastik yang diinjeksikan dari *nozzle* mesin sampai ke dalam cetakan. *Sprue*, *runner*, dan *gate* berpengaruh pada kualitas maupun harga produk. *Sprue bush* dan saluran *runner* harus dibuat sependek mungkin untuk mengurangi tekanan yang hilang dalam *cavity*. Ukuran diameter *runner* tergantung dari material plastiknya, semakin besar diameter *runner* material yang dibuang semakin banyak. Desain *runner system* yang baik akan menjamin pengisian cairan optimal ke dalam *cavity*, pengisian seimbang untuk *multi-cavity*, pengisian seimbang untuk *multi-gates*, meminimalkan sisa buangan plastik dan efisiensi konsumsi energi. Diameter *runner* tidak boleh lebih besar dari ketebalan produk (Menges et al., 2001). Pada Gambar 2.18. menunjukkan bagian-bagian dalam *runner system*.



Gambar 2.18. *Runner System*

Posisi *runner* tepat berada pada *parting line* dan merupakan saluran lanjutan dari *sprue* dimana bahan mengalir ke cetakan. Bentuk potongan *runner* ada beberapa sebagai berikut:

- a. Bulat
- b. Trapezium
- c. U



Gambar 2.19. Bentuk Potongan Runner

Jenis-jenis *runner* dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

a. *Coventional Runner*

Jenis *runner* ini adalah jenis yang paling sederhana, kelemahan dari *runner* ini cairan plastik tidak dapat tersebar secara merata dimana paling ujung memiliki tekanan lebih besar. Sedangkan pada bagian terdekat *sprue* tekanan lebih rendah.

b. *Improved Runner*

Jenis *runner* yang lebih baik dibandingkan dengan *conventional runner*. Dimana cairan dapat menyebar lebih merata dibanding *conventional runner*.

c. *Balanced Runner*

Jenis *runner* yang paling baik karena plastik dapat menyebar merata di seluruh rongga.

d. *Hot Runner*

Sistem *runner* dimana saat *mold* terbuka hanya mengeluarkan produk saja. Dimana *sprue* maupun *runner* lebur oleh pemanas yang memudahkan dalam memasukkan material cair ke dalam *mold*. Cocok untuk otomatisasi, sehingga cocok untuk memproduksi barang dengan jumlah besar.

e. *Cold Runner System*

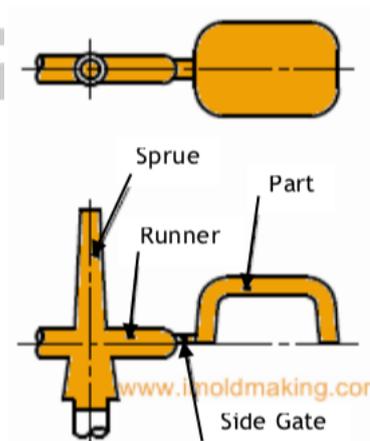
Cold runner memiliki fungsi hampir mirip dengan *hot runner*, tetapi menggunakan temperatur yang berbeda. *Runner* tipe ini digunakan pada temperatur 80°-120°C, sedangkan material yang digunakan biasanya reaktif seperti karet dan *thermoset*.

2.2.4.6. Gate System

Gate merupakan saluran terakhir yang langsung bersentuhan dengan material. Fungsi dari *gate* yaitu mencegah aliran balik dari cetakan ke dalam *nozzle* pada saat pendinginan, mengontrol arah dan aliran material. Peletakkan posisi *gate* dipasang pada bagian dinding produk yang paling tebal untuk menghindari terjadinya cekungan atau *sink mark* karena *shrinkage*. Pemasangan *gate* dilakukan pada tempat yang tidak mudah terlihat, sehingga dapat mempermudah ketika proses *finishing*. Letak dan desain *gate* berpengaruh terhadap kualitas produk, apabila desain dan letak tidak tepat akan terjadi *flashing*, *short shot*, dan *wildline* (Menges et al., 2001). Berikut beberapa jenis *gate* yang digunakan dikonstruksi *mold*:

a. *Side Gate*

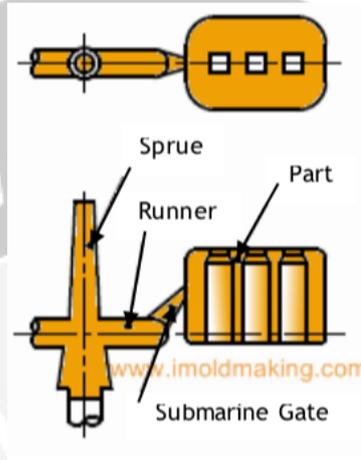
Tipe *gate* ini yang paling sering digunakan dalam konstruksi *mold*. Umumnya digunakan untuk struktur cetakan dengan dua atau beberapa *cavity*. Jenis *gate* ini ketika setelah selesai proses injeksi harus dipotong secara manual, kebanyakan diletakkan di samping produk. Gambar 2.20. menunjukkan bentuk dari *side gate*.



Gambar 2.20. Side Gate

b. *Submarine Gate*

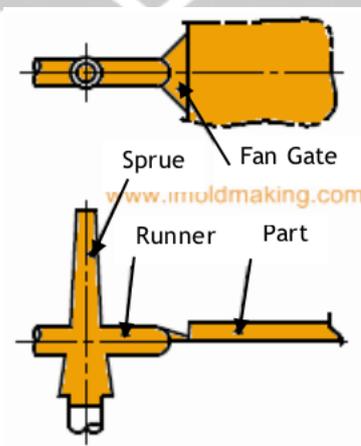
Penempatan *gate* biasanya diletakkan pada sisi *cavity* atau dari sisi *core*, tetapi dari sisi desain harus dipikirkan secara hati-hati supaya produk tersebut tidak tertinggal di dalam *cavity*. Jenis *gate* ini akan terpotong secara otomatis ketika *mold* telah terbuka. Gambar 2.21. menunjukkan bentuk dari *submarine gate*.



Gambar 2.21. Submarine Gate

c. *Fan Gate*

Tipe *gate* ini banyak digunakan untuk produk berbentuk plat dengan dimensi yang besar dan memiliki permukaan yang datar. Penempatan *gate* diletakkan pada sisi produk, mirip dengan *side gate*. Proses *finishing* yang sulit dan membutuhkan biaya dikarenakan ukuran *gate* yang cukup besar. Jenis *gate* ini harus dipotong secara manual dan meninggalkan bekas pada produk. Gambar 2.22. menunjukkan bentuk dari *fan gate*.



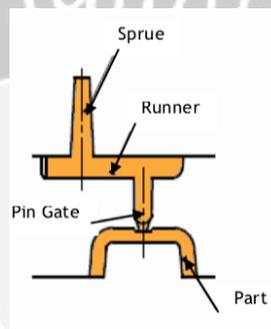
Gambar 2.22. Submarine Gate

d. *Film Gate*

Film gate bentuk sama dengan *fan gate*, hanya saja penggunaan tipe *gate* ini untuk produk yang memiliki dimensi lebar dan tipis.

e. *Pinpoint Gate*

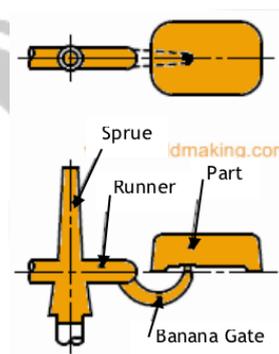
Tipe *gate* ini banyak digunakan pada konstruksi *multiple cavity*. Penempatan *gate* dan tata letak *runner* relatif fleksibel di sisi atas produk. Struktur dasar cetakan menggunakan metode *3 plate*. Gambar 2.23. menunjukkan gambar dari *pinpoint gate*.



Gambar 2.23. Pinpoint Gate

f. *Banana Gate*

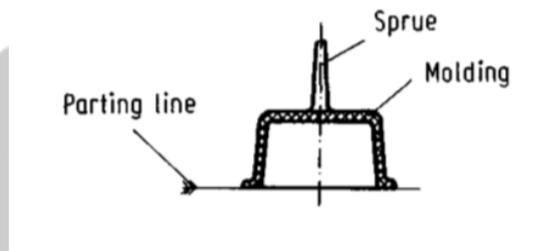
Tipe *gate* ini jarang digunakan pada konstruksi *mold*. Penggunaan *gate* ini saat produk yang dihasilkan tidak boleh ada bekas *gate*. Jenis *gate* ini akan terpotong secara otomatis setelah cetakan terbuka. Gambar 2.24. menunjukkan bentuk dari *banana gate*.



Gambar 2.24. Banana Gate

g. *Direct Gate*

Tipe *gate* ini *sprue* berfungsi sebagai *gate* dan ditempatkan tepat di sisi atas produk. Jenis *gate* ini harus dipotong secara manual dan meninggalkan bekas pada produk. Gambar 2.25. menunjukkan bentuk dari *direct gate*.



Gambar 2.25. *Direct Gate*

h. *Valve Gate*

Tipe *gate* ini menggunakan *valve* dalam konstruksi *gate* tersebut. *Valve* disesuaikan dengan *timing* injeksi dan *gate* terbuka yang merupakan tipe *hot runner*, sehingga tidak ada *sprue* maupun *runner*.

2.2.5. *Turning Operation*

Mesin bubut adalah salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar. Prinsip kerja dari mesin bubut adalah benda kerja dicekam oleh *chuck* yang berputar, sedangkan pahat potong bergerak maju untuk melakukan pemotongan. Proses pembubutan menghasilkan benda kerja berbentuk silindris (Embriyakto, 1991). Dalam mengoperasikan mesin bubut terdapat beberapa parameter proses pembubutan yang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Kecepatan putaran

$$n = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times d} \quad (2.1)$$

Dimana n = putaran *spindle* (rpm), π = phi, Vc = kecepatan potong (m/min), d = diameter benda kerja (mm).

b. Pembubutan Memanjang

$$L = l + la + lu \quad (2.2)$$

c. Pembubutan Memanjang (poros berpundak)

$$L = l + la \quad (2.3)$$

d. Pembubutan Melintang

$$L = d/2 + la \quad (2.4)$$

Dimana L = panjang pembubutan (mm), la = awalan sebelum bergerak (mm), l = panjang benda kerja (mm), lu = sisa langkah setelah bergerak (mm).

e. Waktu Pemotongan

$$Th = \frac{L \times i}{n \times f} \quad (2.5)$$

Dimana Th = waktu pemakaian pokok (menit), f = gerak maju tiap putaran (mm), i = jumlah potongan

2.2.6. Milling Operation

Mesin *milling* adalah salah satu mesin perkakas yang cara kerja pemotongannya dengan menyayat atau memakan benda kerja menggunakan alat potong yang berputar. Alat potong *milling* disebut *cutter milling* atau pahat *milling* (Embriyakto, 1991). Bentuk yang dihasilkan dari proses *milling* adalah bidang datar.

a. Kecepatan putaran *spindle*

$$n = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times d} \quad (2.6)$$

Dimana n = kecepatan putaran *spindle* (rpm), kecepatan potong (m/min), $\pi = phi$, d = diameter *cutter* (mm).

b. Potongan pertama

$$ls = \sqrt{d \cdot a - a^2} \quad (2.7)$$

Dimana ls = potongan pertama (mm), a = dalam pemotongan (mm).

c. Panjang jalannya *cutter*

$$L = l + ls + la + lu \quad (2.8)$$

Dimana L = panjang jalannya *cutter* (mm), la = awalan sebelum bergerak (mm), sisa langkah setelah bergerak (mm).

d. Kecepatan gerak maju

$$Vf = fz \cdot n \cdot z \quad (2.9)$$

Dimana V_f = kecepatan gerak maju (mm/min), f_z = gerak maju tiap gigi *cutter* (mm/rev), z = jumlah mata potong.

e. Jumlah potongan

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{t}{\text{DOC}} \quad (2.10)$$

Dimana a = lebar benda yang dikerjakan (mm), $b = \frac{3}{4} \times d$, $\text{DOC} = \text{Depth of Cut}$ (mm), t = tebal dari *raw material* ke ukuran jadi (mm)

f. Waktu pemotongan

$$Th = \frac{L \times i}{V_f} \quad (2.11)$$

Dimana Th = waktu pemakaian pokok (menit), i = jumlah potongan.

2.2.7. Drilling Operation

Mesin *drilling* biasa digunakan untuk membuat lubang, *reaming*, *counter boring* pada bend-benda metal maupun non metal. Benda kerja diletakan pada meja mesin dan jika diperlukan cekaman pada benda dapat mengguna tanggem atau *vise*. Mata bor yang berputar akan ditekan pada benda kerja tersebut (Embriyacto, 1991). Dalam mengoperasikan mesin *drilling* terdapat beberapa parameter proses *drilling* yang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Kecepatan putaran *Twist Drill*

$$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d} \quad (2.12)$$

Dimana n = putaran *spindle* (rpm), $\pi = phi$, V_c = kecepatan potong (m/min), d = diameter *twist drill* (mm).

b. Potongan pertama

Rumus untuk potongan pertama dipengaruhi oleh sudut mata potong *twist drill*.

Sudut	80°	118°	130°	140°
$l_s =$	$0,6 \times d$	$0,3 \times d$	$0,23 \times d$	$0,18 \times d$

(2.13)

Dimana l_s = potongan pertama (mm).

c. Panjang jalan bor

i. Pengeboran Tembus

$$L = l + l_s + l_a + l_u \quad (2.14)$$

ii. Pengeboran Tidak Tembus

$$L = l + l_s + l_a + \dots \quad (2.15)$$

Dimana L = panjang jalan bor (mm), l = dalam pengeboran (mm), l_a = awalan sebelum bergerak (mm), l_u = sisa langkah setelah bergerak (mm).

d. Waktu Pemotongan

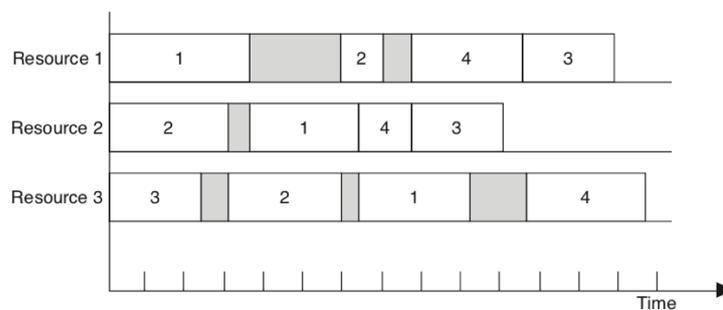
$$Th = \frac{L \times i}{n \times f} \quad (2.16)$$

Dimana Th = waktu pemakaian pokok (menit), f = gerak maju tiap putaran (mm), i = jumlah potongan

2.2.8. Penjadwalan

Penjadwalan adalah pengaturan penggunaan sumber daya yang terbatas untuk menjalankan sejumlah pekerjaan selama durasi waktu tertentu. Menurut Barker dan Trietsch (2009) dalam proses penjadwalan, perlu mengetahui jenis dan jumlah masing-masing sumber daya sehingga dapat menentukan kapan tugas dapat diselesaikan secara layak. Mendeskripsikan setiap tugas dalam hal informasi seperti kebutuhan sumber daya, durasi, waktu paling awal dimana dapat dimulai dan waktu dimana saat selesai.

Barker dan Trietsch (2009) juga menjelaskan model formal membantu kita untuk memahami masalah penjadwalan dan kemudian menemukan solusi yang baik. Sebagai contoh, salah satu model yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah *Gantt chart*, yang merupakan representasi analog dari suatu jadwal. Dalam bentuk dasarnya, *Gantt chart* menampilkan alokasi sumber daya dari waktu ke waktu. Sebuah bagan seperti gambar 2.26 membantu kita untuk memvisualisasikan jadwal dan detailnya karena sumber daya dan tugas muncul dengan jelas.



Gambar 2.26. Gantt Chart

Klasifikasi penjadwalan menurut Pinedo (2005) dapat dibagi menjadi:

- a. Penjadwalan Mesin Tunggal (*Single Machine*)
- b. Penjadwalan Mesin Paralel

Penjadwalan mesin paralel dapat dibagi lagi menjadi:

- i. Penjadwalan N *job* pada Mesin Paralel Identik

Prinsip dalam penjadwalan paralel identik adalah pengalokasian beban ke mesin yang lebih dahulu *idle*/kosong.

- ii. Penjadwalan N *job* pada Mesin Paralel Non Identik

Paralel non-identik dimana setiap mesin mempunyai fungsi yang sama namun waktu proses berbeda. *Flow time* tidak bisa dievaluasi langsung dari waktu proses. Tidak selalu alternatif waktu terpendek dari setiap *job* akan menjadi keputusan alokasi pada mesin.

