

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dengan semakin meningkatnya kemampuan *hardware* dan *software*, simulasi dan visualisasi dengan komputasi menjadi peralatan yang penting untuk menunjang dan meningkatkan proses industri, seperti pengecoran besi. *Computer-aided Visualization* meningkatkan semua kemampuan peralatan yang digunakan untuk proses pembekuan, termasuk literatur sebelumnya, model matematis, eksperimen laboratorium, dan pengukuran proses pengecoran (Wang dan Young, 2005).

Penelitian yang dilakukan (Mufid,2017) dengan judul *Desain Dan Optimasi Injection Mold Sistem Three-Plate Mold Pada Produk Glove Box* dalam penelitiannya tentang bagaimana menentukan jenis *runner*, lokasi *gate* dan jenis *cooling system* pada produk *glove box*. Ada beberapa analisa yang disimulasikan dengan *Autodesk Moldflow*, seperti analisa *Circuit metal temperature*, *Time to reach ejection temperature part*, *Circuit heat removal efficiency*, *Deflectionall effects* . Dari hasil beberapa perbandingan analisa dapat diketahui jenis *cooling conformal* mempunyai nilai *deflection* lebih kecil dan waktu temperatur *ejection* lebih cepat dari *cooling baffle* dan *cooling* seri, tetapi pada proses *machining* sulit dan membutuhkan waktu lama, karna bentuk sirkuit *cooling* yang mengikuti lengkungan bentuk produk *glove box*, sedangkan *cooling* seri penyerapan panas kurang efektif dibandingkan *cooling baffle* oleh karena itu dipilih *cooling baffle* dalam perancangan *mold glove box*.

Penelitian yang dilakukan (Darmawan,2018) dengan judul *Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Cacat Short shot Pada Produk Injection Molding Berbahan polypropylene (PP)* dalam penelitiannya membahas tentang variasi *melt temperature* untuk mengetahui luasan dan presentase cacat *short shot* dengan parameter *mold temperature*, *injection presure*, dan *holding time* diatur secara

konstan. Spesimen menunjukkan pada temperatur rendah (150°C dan 155°C) sudah ditemukan cacat *short shot* seperti lubang yang bisa dilihat secara kasat mata. Ketika suhu dinaikan pada temperature 160°C, 165°C dan 170°C tidak di temukan cacat *short shot*. Luasan cacat *short shot* diukur menggunakan mesin CNC Router dengan maksud untuk mengukur titik kordinat luasan cacat *short shot* agar mendapatkan hasil yang akurat dan selanjutnya di analisa menggunakan *solidwork*, maka di ketahui pada temperatur 150°C di temukan cacat *short shot* dengan luas 1323,72 mm² (0,344%) dan pada temperatur 155°C besarnya luas cacat *short shot* menjadi lebih kecil 140,21 mm² (0,036%). Jika dilihat dari data tersebut penggunaan temperature proses 150°C dan 155°C tidak optimal dalam produk injeksi *molding* dengan bahan *polypropylene*.

Penelitian yang dilakukan (Rianto,2015) dengan judul *Otimalisasi Proses Injeksi Plastik Menggunakan Moldflow Dual-Domain Pada Desain Base Plate* dalam penelitiannya meminimalisasi volumetrik shrinkage pada produk *base plat* yang tidak boleh lebih dari 10 % dengan menggunakan metode desain eksperimen taguchi dan *moldflow dual-domain*. Hasil optimal yang diperoleh dari optimasi parameter yang berpengaruh pada *volumetrik shrinkage* adalah *mold temperature* 70°C, *melt temperature* 235°C, *injection pressure* 100 Mpa, *injection time* 1.008 s, dan *cooling time* 9.7815°C nilai *volumetrik shrinkage* maksimal sebesar 7.612%.

Perancangan yang dilakukan (Gunawan dan Ongkodjojo,2006) dengan judul *Simulasi Aliran Fluida Pada Desain Mold Sebagai Solusivisualisasi Nyata Dalam Desain Injection Mold* dalam mendesain *mold* untuk injeksi *molding* sering dijumpai beberapa kendala dalam perancangan yang disebabkan bentuk *mold* yang kompleks maupun aliran *fluida* plastik yang melalui *mold* tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakaukan simulasi aliran *fluida* pada *mold* yang akan di rancang menggunakan *software Moldflow* agar terlihat secara visualisasi dari aliran *fluida*. Dengan menggunakan *software* ini dapat dianalisa mengenai kemungkinan letak dari *gate* yang paling optimal, waktu yang diperlukan untuk *injection*, *temperature*, tekanan *injection*, dan parameter lainnya, sehingga dapat memprediksi kemungkinan kegagalan dalam suatu desain yang dibuat.

Pada proses pembentukan plastik dengan metode *injection* perlu dibuat suatu *mold* yang mana *mold* di gunakan sebagai cetaknya dari produk itu sendiri. Untuk itu banyak faktor yang perlu diperhatikan dalam mendesain *mold* tersebut dan parameter yang digunakan, agar nantinya pada saat proses injeksi dapat menghasilkan produk sesuai yang di harapkan.

Penelitian saat ini mengembangkan metode dan parameter pada penelitian sebelumnya yang mana dalam mencari parameter dan optimasi produk menggunakan dasar dan prosedur percobaan yang benar. *Study* kasus pada penelitian ini adalah produk instalasi listrik *top T-dost*. Produk ini di produksi oleh UD. RAFI yang berlokasi di Siman Ponorogo. Mesin *injection molding* yang ada di industri ini masih secara konvensional berkapasitas 5 ton yang mana sistem penggeraknya masih di bantu tenaga manusia seluruhnya. Produk yang diproduksi menggunakan *mold two plate* dan 3 *cavity*. Kasus yang ada pada produk ini adalah adanya cacat *short shot* yang mempengaruhi kualitas hasil produksi pabrik tersebut dan meminimalkan terjadinya *shrinkage*. Metode awal yang di lakukan adalah mensimulasikan parameter yang ada sesuai dengan kondisi di lapangan, untuk mencari faktor-faktor penyebab kegagalan produk menggunakan *software moldflow*. Dengan membandingkan beberapa desain *runner system*, *cooling system* dan parameter menggunakan simulasi *moldflow*, diharapkan mendapatkan hasil yang optimal. Dari penelitian sebelumnya peneliti mengembangkan parameter yang digunakan adalah *melt temperature*, *mold temperature*, *injection pressure*, *holding* dan *injection time* karena dapat meminimalisir cacat produk *short shot* dan *shrinkage*.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Polypropylene (PP)

Polypropylene pertama kali diproduksi sekitar tahun 1959 dengan tujuan mendapatkan *polyolefin* yang mengandung derajat kristal 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*. PP disintesis melalui *polimerisasi propylene*, suatu *monomer* yang diambil dari minyak bumi dengan katalis *Ziegler Natta* atau memakai katalis *metallocene*. (Budiyantoro, 2009)



Gambar 2.1. Reaksi sintesa PP (Budiyantoro, 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) Kontanta 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).

Adapun sifat-sifat PP dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 2.1 Sifat-Sifat PP . (Budiyantoro, 2009)

Sifat Fisik <i>Polypropylene</i> (PP)	
Berat Jenis (gr/cm^3)	0.9-0.91
<i>Glass Transition</i> Temperatur (T_g), $^{\circ}\text{C}$	10
Titik Lebur (T_m), $^{\circ}\text{C}$	160-165
Derajat Kristal (%)	60-70
<i>Ratio Flow path</i>	(250-275):1
Sifat Mekanis <i>Polypropylene</i> (PP)	
<i>Modulus Elastisitas</i> (Mpa)	1300-1800
<i>Ball indentitation hardness</i> (N/mm^2)	70
<i>Shore hardness</i>	72
Kekuatan Kejut <i>Charpy</i> , tanpa takikan (KJ/m^2)	Tidak Patah
Kekuatan Kejut <i>Charpy</i> , dengan takikan pada suhu (KJ/m^2) 23°C	12
Kekuatan Kejut <i>Charpy</i> , dengan takikan pada suhu (KJ/m^2) 4°C	4

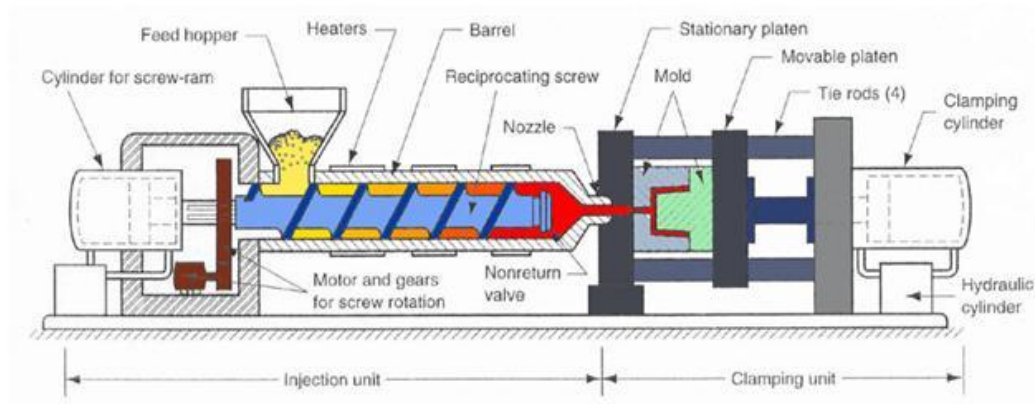
Jika dilihat dari parameter prosesnya, cairan PE lebih *sensitive* terhadap perubahan suhu jika dibanding PP, *shrinkage* juga lebih besar dalam kasus PE. PE lebih mudah dicairkan sehingga memerlukan energi lebih rendah dibanding peleburan PP. Suhu proses untuk PP sekitar 210 hingga 250°C , dan tidak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

2.2.2. 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.

Parameter yang harus diperhatikan dalam proses *injection molding* adalah tekanan dan suhu, apabila tekanan dan suhu terlalu tinggi maka produk yang dihasilkan akan mengalami cacat *flashes*, yaitu material yang berlebihan di bagian pinggir produk seperti sirip. Apabila tekanan dan suhu rendah cacat yang terjadi pada produk *short shot*, yaitu cetakan yang tidak sepenuhnya terisi material plastik. Produk yang dihasilkan *injection molding* meliputi produk berdiamensi besar dan kecil maupun produk yang berbentuk rumit dan sederhana. Contoh produk yang di hasilkan melalui *injection molding* diantaranya produk instalasi listrik, rumah tangga, otomotif, kesehatan, manufaktur, dan lain sebagainya. Ada bagian-bagian unit *injection molding* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2 *Injection molding*

(Sumber: www.sinotech.com)

1. *Clamping unit*

Clamping unit berfungsi untuk memegang dan mengatur gerakan dari mold unit, serta gerakan *ejector* saat melepas benda / produk dari *molding unit*, pada *clamping unit* bisa mengatur berapa panjang gerakan *mold* saat di buka dan berapa panjang *ejector* harus bergerak. *Clamping unit* merupakan bagian yang kompleks yang terdiri dari mesin *molding*, *dwelling* yang memastikan *molding* terisi penuh oleh material, *injection* memasukkan material melalui *sprue*, dan *ejector* untuk mengeluarkan hasil cetakan plastik dari *molding*. Pada saat proses *injection* mesin harus mampu menahan gaya *open force*, karena pada saat proses *injection* menggunakan tenaga *hidraulic* yang cukup besar. Apabila mesin tidak dapat menahan tekanan *injection*, material plastik akan keluar dari sela-sela *mold* dan mengakibatkan cacat.

Ada 3 macam *clamping unit* yang biasa digunakan di industri plastik, antara lain :

- a. *Mechanism Toggle Clam* adalah gerakan mesin membuka dan menutup *mold* dengan menggunakan mekanisme gerakan *toggle* seperti engsel lengan manusia.
- b. *Mechanism Hydraulic Clam* adalah gerakan mesin dengan menggunakan mekanisme *elektrik motor* dan *hydraulic pump* sebagai penggerak utamanya.

- c. *Mechanism Servo Motor* adalah gerakan utama mesin menggunakan *elektric/servo* motor yang memiliki *variabel speed* yang bisa diatur. Pada mekanisme ini terjadi perubahan dari gaya *radial* menjadi gaya aksial akibat putaran motor *servo*.

2. *Injection Unit*

Sebelum dilakukan proses *injection* material plastik biasanya masih berbentuk *pellet*. Kemudian *pellet* di masukan kesaluran tuang (*hopper*) yang terletak di bagian atas mesin yang menuju ke bagian *barrel* untuk di cairkan, lalu material yang sudah cair di aduk menggunakan *screw* serta membawa material diujung *barrel*. Material yang sudah diujung *barrel* maka proses *injection* dapat dilakukan, plastik cair mulai di tekan kedalam cetakan melalui saluran (*nozzel*) menuju rongga cetak (*cavity*) yang terdapat pada *molding* unit. *Injection* unit merupakan unit yang berfungsi untuk melelehkan plastik dengan suhu yang disesuaikan dengan material plastik hingga mendorong cairan kedalam *cavity* dengan waktu, tekanan, temperatur, dan kepekatan tertentu, berikut bagian dari *injection* unit dan fungsinya :

- a. *Cylinder Screw Ram*

Cylinder Screw Ram berfungsi untuk mempermudah gerakan *screw* dengan menggunakan *momen inersia* sekaligus menjaga putaran *screw* tetap konstan, sehingga didapatkan tekanan dan kecepatan yang konstan saat dilakukan proses injeksi.

- b. *Hooper*

Hooper adalah tempat untuk meletakkan bahan baku (biji plastik) sebelum masuk ke *barrel*.

- c. *Barrel*

Barrel adalah tempat *screw* dan selubung yang menjaga aliran plastik yang dipanasi oleh *heater*, pada bagian ini juga ada *heater* untuk mencairkan biji plastik.

- d. *Screw*

Screw berfungsi untuk mengalirkan plastik dari *hooper* ke *nozzel*.

3. *Mold Unit*

Mold Unit adalah bagian terpenting untuk mencetak produk plastik, bentuk benda/produk plastik sangat tergantung dari bentuk *mold*, karena setelah material plastik mencair kemudian akan diinjeksikan ke dalam cetakan atau *mold*, dan dinginkan maka terbentuklah produk plastik sesuai dengan bentuk *mold*, ada berbagai tipe *mold*, di sesuaikan dengan bentuk benda yang akan dibuat. Bagian – bagian utama dari *mold unit* adalah :

a. *Sprue dan runner system*

Sprue adalah bagian yang menerima plastik dari *nozzel* kemudian ke *runner* akan dimasukan ke dalam *cavity mold*. Biasanya berbentuk *taper* (kerucut) karena dikeluarkan dari *spruebushing*. *Sprue* bukan bagian dari produk *molding* yang di buang pada proses *finising* produk.

b. *Cavity side / mold cavity*

Cavity side / mold cavity adalah bagian yang membentuk plastik yang di cetak, *cavity side* terletak pada *stationary plate*, yaitu *plate* yang tidak bergerak saat dilakukan *ejecting*.

c. *Core side*

Core side merupakan bagian yang juga memberikan bentuk plastik yang di cetak. *Core side* terletak pada *moving plate* yang dihubungkan dengan *ejector* sehingga ikut bergerak saat dilakukan *ejecting*.

d. *Ejector system*

Ejector merupakan bagian yang berfungsi untuk melepas produk dari *cavity mold*.

e. *Gate*

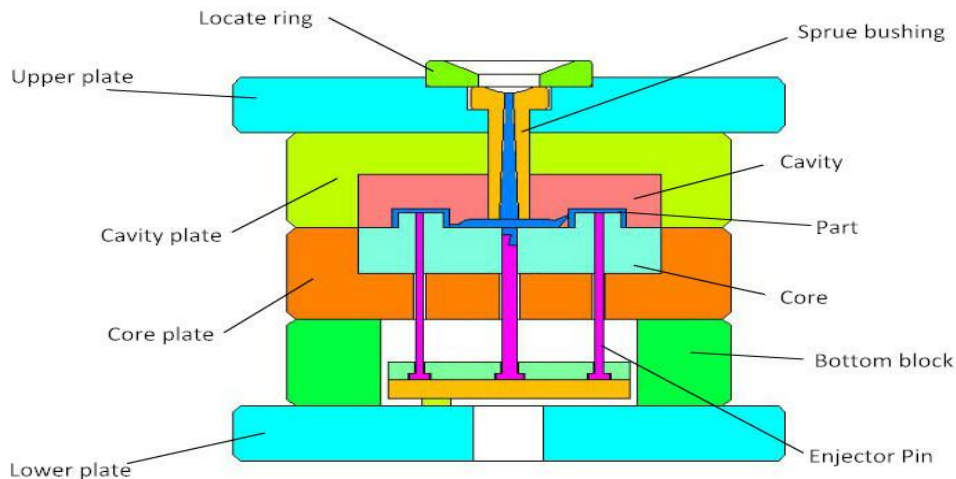
Gate adalah bagian yang terhubung dengan benda kerja, sebagai tempat pertama mengalirnya material injeksi ke *cavity*.

f. *Coolant channel*

Coolant merupakan bagian yang berfungsi sebagai pendingin cetakan untuk mempercepat proses pembekuan material plastik.

g. *Insert*

Insert adalah bagian lubang tempat masuknya material plastik kedalam rongga cetakan (*cavity*).



Gambar 2.3 Bagian utama *mold unit*

(Sumber: www.sinotech.com)

2.2.3. Short Shot

Short shot adalah bagian cetakan yang tidak terisi karena bahan yang di injeksikan tidak cukup di dalam cetakan. Dalam beberapa kasus *short shot* sengaja di produksi untuk menentukan atau memvisualisasikan pola pengisian. Akan tetapi *short shot* yang bermasalah terjadi ketika *polimer* meleleh tidak dapat mengisi keseluruhan rongga cetak. *Short shot* sering terjadi pada bagian ekstremitas yang tipis (Shoemaker,2016).

Berikut adalah faktor–faktor penyebab cacat *short shot* :

- Area aliran yang terlalu kecil seperti *gate*, *runner* dan ketebalan produk yang tipis.
- Suhu leleh dan suhu cetakan rendah.
- Kurangnya ventilasi untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam rongga cetakan.
- Tekanan injeksi mesin yang tidak memadai akibat dari ketahanan leleh yang tinggi dan terbatas alur aliran, volume, dan kecepatan ram.

- e. Kerusakan mesin seperti katup yang menyebabkan hilangnya tekanan injeksi dan kebocoran volume injeksi.
- f. Pemadatan material injeksi karena pola pengisian yang buruk atau waktu injeksi yang terlalu lama.

2.2.4. *Shrinkage*

Shrinkage adalah cekungan atau lengkungan yang terjadi pada permukaan luar produk yang terjadi akibat perbedaan ketebalan pada permukaan benda hingga penyusutan material pada saat pendinginan tidak terjadi secara merata, temperatur leleh terlalu tinggi, letak saluran pendingin yang kurang optimal. Cacat ini dapat diminimalisir dengan memperbaiki parameter proses secara benar dan tepat (Erfina, 2015).

2.2.5. Desain Untuk Injeksi *Molding*

Mendesain *mold* selalu dimulai dengan menentukan posisi *gate* dengan menguji dari beberapa pilihan lokasi *gate* yang paling optimal di dalam *cavity*, kemudian menggunakan pilihan lokasi *gate* untuk percobaan sampai benar-benar optimal. Didalam prosedur optimasi kondisi *mold* adalah bagian penting dalam sebuah desain *mold*. Setelah posisi *gate* sudah diperbaiki, selanjutnya adalah menentukan kondisi laju aliran, *melt temperature*, dan tekanan yang diperlukan untuk *runner system*, dengan kata lain menentuka spesifikasi *runner system*. Setelah parameter *injection* sudah dioptimalkan bagian *cooling system* dapat dianalisis, tujuannya untuk merancang sistem pendingin cetakan agar panas dapat terdistribusi secara baik, hal ini akan meminimalkan waktu siklus dan menghasilkan produk berkualitas. Langkah terakhir adalah menentukan *shrinkage* dari produk, ketika bagian langkah – langkah sebelumnya dianalisis dengan benar maka halaman analisis mengkonfirmasi proses optimasi dilakukan dengan baik.

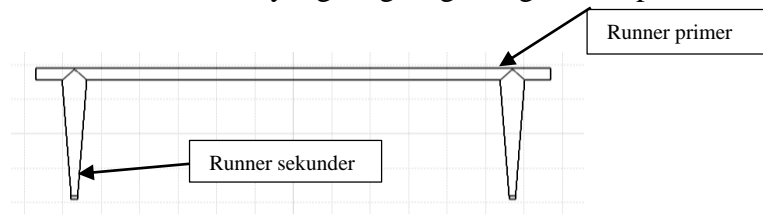
2.2.6. *Runner System*

Sistem *runner* merupakan bagian terpenting dalam perancangan sirkuit aliran plastik dalam mendisain cetakan. Desain *runner* yang baik tidak hanya meliputi

geometri yang benar, ukuran, serta posisi atau tata letak *runner* tapi juga sistem pengeluarannya dan pendinginnya (Irawan,2017).

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 2.4 Tipe *runner*
(Shoemaker, 2006)

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

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

Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung diameter *runner*, dan *gate*.

Perhitungan diameter *runner*

$$D = \frac{w^{1/2} \times L^{1/4}}{3.7} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana, D = Diameter *runner* (mm)

w = Berat produk (gram)

L = Panjang *runner* (mm)

Perhitungan diameter *runner*

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 \times Q}{\pi \times \gamma}} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana, r = *Gate* diameter (cm)

Q = *Shot* volume/*injection* time (cm/s)

γ = *Shear* rate (s)

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

$$L_p = \frac{L_1 + L_2}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana,

L_p = *Flow length* (mm)

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

L_2 = Jarak *gate* dengan ujung produk (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.

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 yang tersebut akan melewati tepi *runner* yang sudah padat karena konduktivitas rendah yang dimiliki termoplastik *mold* bertindak sebagai insulasi dan menjaga suhu di dalam aliran lelehan tersebut. (Goodship,2004)

2.2.7. Gate

Gate adalah bagian dari sistem saluran masuk cairan plastik kerongga cetak. Pemilihan lokasi *gate* yang tepat merupakan faktor penting yang mempengaruhi kualitas akhir sebuah produk. Lokasi *gate* dipilih berdasarkan resistensi aliran yang paling rendah (Budiantoro,2016).

Untuk mendesain *gate* perlu memperhatikan hal berikut ini

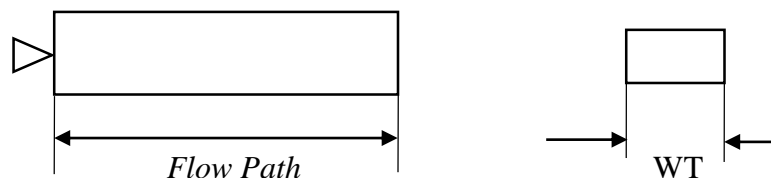
- Posisikan *gate* pada bagian produk yang lebih tebal.
- Letakkan *gate* pada bagian yang tersembunyi.
- Hindarkan terjadinya cacat *weld line* pada daerah pembebanan.
- Pelepasan *gate* harus semudah mungkin. .
- Hindari udara terjebak.
- Hindari cacat *jetting* dengan menempatkan *gate* dan dimensi.

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



Gambar 2.5 Letak posisi *gate*
(Shoemaker, 2006)

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



Rumus untuk mencari *ratio* $\frac{Flow Path}{WT}$

Flow Path: *Ratio* jalur aliran

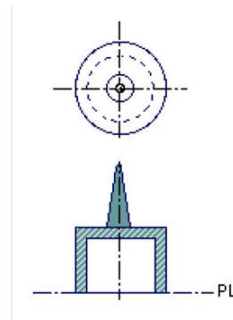
WT : Tebal produk

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)

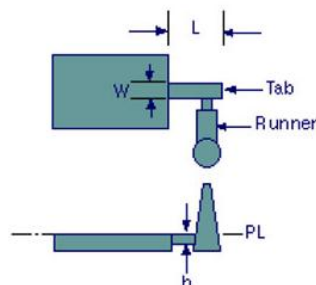
Merupakan tipe *gate* langsung yang hanya memerlukan sedikit tekanan injeksi dan waktu yang cepat dalam pengisian produk ke dalam cetakan, biasanya digunakan pada cetakan *single cavity*, kerugian tipe *sprue gate* adalah meninggalkan bekas *gate* yang cukup besar pada produk yang sulit dihilangkan, biasanya tipe *sprue gate* banya digunakan pada peralatan rumah tangga seperti contoh ember, tempat sampah, dll. Gambar *sprue gate* dapat dilihat di bawah ini. (Shoemaker, 2006)



Gambar 2.6 *Sprue gate*
(Shoemaker, 2006)

2. *Tab gate*

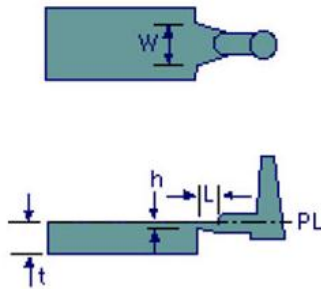
Tipe *tab gate* biasanya digunakan pada produk yang memiliki bentuk pipih datar panjang, kemudian terletak disisi yang sempit, tipe *tab gate* dibuat untuk mengurangi tegangan geser yang ada di sekitar *gate*. (Shoemaker, 2006) Gambar dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.7 *Tab gate*
(Shoemaker, 2006)

3. Fan Gate

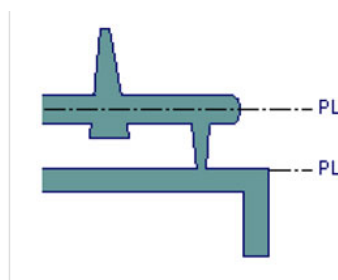
Memiliki bentuk seperti kipas, tipe *fan gate* dibuat untuk membuat aliran yang stabil kebagian produk, memiliki keuntungan untuk menghindari deformasi dan mempertahankan bentuk produk. (Shoemaker, 2006). Gambar dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.8 *Fan gate*
(Shoemaker, 2006)

4. Pin Gate

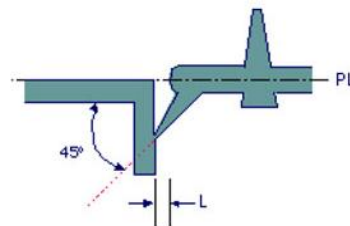
Merupakan tipe *gate* yang hanya digunakan pada konstruksi *three-plate mold*. Tipe *pin gate* dibuat untuk memudahkan produk lepas dengan *gate* dan *runner*, sehingga diameter gate dibuat sekecil mungkin. (Shoemaker, 2006). Gambar dapat dilihat di bawah ini



Gambar 2.9 *Pin Gate*
(Shoemaker, 2006)

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. (Shoemaker, 2006) Gambar dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.10 *Sub Gate*
(Shoemaker, 2006)

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

$$L_p = \frac{L_1 + L_2}{2} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,

L_p = *Flow length* (mm)

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

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

Adapun nilai rasio *flow path wall thickness* di setiap bahan plastik padacetakan injeksi bisa dilihat di gambar 2.11.

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

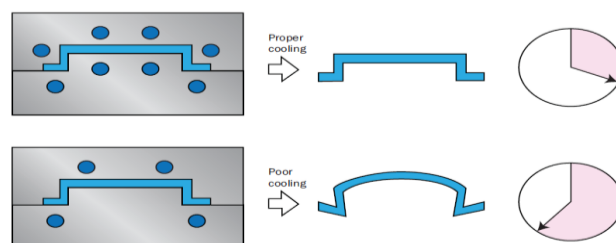
<i>Polymer</i>	<i>Flow path ratio</i>
ABS	80–150
Acrylic [poly(methyl methacrylate)]	100–150
Nylon 6	140–340
Nylon 66	180–350
Polyacetals	100–250
Poly(butylene terephthalate)	160–200
Polycarbonates	30–70
Polyether ether ketone	up to 200
Polyethylene (HDPE)	150–200
Polyethylene (LDPE)	200–300
Poly(ethylene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

Gambar 2.11 Nilai rasio *flow path*

(Sumber: Brydson, 1999)

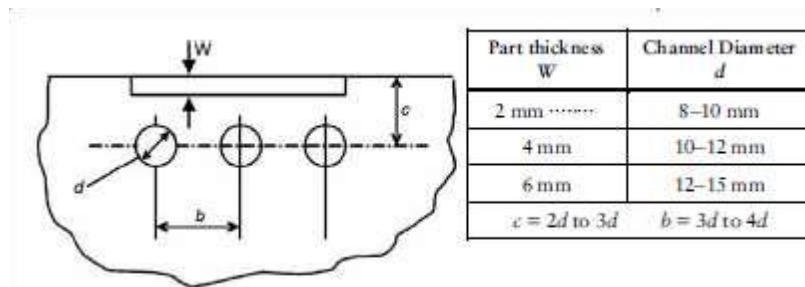
2.2.8. Cooling System

Proses pendinginan merupakan fase ketiga dalam satu siklus proses pembuatan produk plastik dengan cetak injeksi dengan menurunkan suhu polimer sampai mencapai temperatur eaksi (*cooling phase*). Proses pendinginan memerlukan waktu yang paling panjang pada proses pencetakan plastik. Proses pendinginan pada proses cetak injeksi plastik merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan waktu siklus proses, sementara itu saluran pendingin konvensional banyak dipakai pada proses cetak injeksi, karena bentuknya yang sederhana sehingga mempermudah proses pembuatannya. Lubang saluran pendinginan dibuat dengan jumlah dan jarak tertentu pada bagian *core* dan *cavity* untuk meminimalisasi terjadinya cacat produk. Dibawah ini adalah contoh gambar pendinginan yang optimal untuk meningkatkan kualitas produk.



Gambar 2.12 Penempatan *cooling* yang efisien (Shoemaker, 2006)

Pemilihan saluran pendingin diarea *mold* penting dilakukan untuk pendinginan yang efisien. Jika *cooling circuit* mempunyai jarak yang terlalu jauh distribusi panas menjadi tidak merata, jika jarak jalur *cooling* terlalu berdekatan ketebalan cetakan dimungkinkan terlalu tipis. Jika terlalu dekat dengan permukaan mengakibatkan *over cooling* sehingga kontrol suhu tidak teratur. Panduan untuk jarak saluran pendingin bisa dilihat pada gambar 2.13.

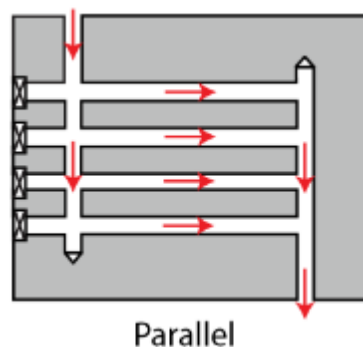


Gambar 2.13. Jarak *cooling* dengan produk dan antar saluran
(Jones,2008).

Cooling system mempunya 3 jenis diantaranya :

a. *Cooling system* paralel

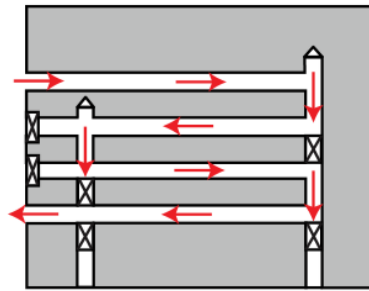
Cooling system paralel adalah saluran pendingin yang mempunyai aliran sejajar sehingga laju aliran masing-masing saluran bervariasi menyebabkan efisiensi perpindahan kalor dari setiap saluran berbeda. Hal ini menyebabkan proses pendinginan cetakan tidak seragam menggunakan saluran pendingin paralel (Shoemaker, 2006). Contoh saluran paralel gambar 2.14.



Gambar 2.14 Saluran pendingin paralel
(Shoemaker, 2006)

b. *Cooling system* seri

Cooling system seri adalah saluran pendingin yang sering digunakan para *molddmaker*, karena saluran pendinginnya terhubung dalam satu penampang atau lubang dari saluran masuk pendingin ke bagian keluar saluran. Jika saluran pendingin berukuran seragam, pendingin dapat mempertahankan laju aliran turbulennya (full) dengan panjang seluruhnya. Aliran turbulen memungkinkan panas ditransfer lebih efektif, akibatnya efisiensi meningkat. Namun harus berhati-hati untuk meminimalkan kenaikan suhu pendingin karena saluran pendingin akan menyerap panas dari sepanjang jalur saluran pendingin (Shoemaker, 2006). Contoh saluran pendingin seri pada gambar 2.15.



Series

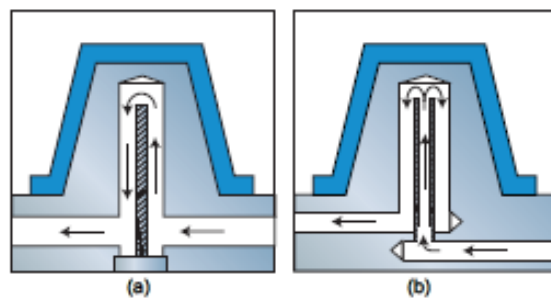
Gambar 2.15. Saluran pendingin seri
(Shoemaker, 2006)

c. *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 cetakan. *Baffle* 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 masuk 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). Pada gambar 2.16. menunjukkan penampang *baffle* dan *bubbler* dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.16 (a) *baffle* (b) *bubbler*

(Shoemaker, 2006)

2.2.9. Software Minitab

Minitab merupakan salah satu program aplikasi statistika yang banyak digunakan untuk mempermudah pengolahan data statistik. Kegunaan minitab adalah dapat digunakan dalam pengolahan data statistik untuk tujuan sosial dan teknik. Minitab sudah diakui sebagai program statistika yang sangat kuat dengan tingkat akurasi taksiran statistik yang tinggi.

Minitab menyediakan beberapa pengolahan data untuk melakukan analisis regresi, ANOVA, membuat alat-alat pengendalian kualitas statistika, membuat desain eksperimen (factorial, response surface dan taguchi), membuat ramalan dengan analisis time seris, analisis realibilitas dan analisis multivariate, serta menganalisis data kualitatif dengan menggunakan cross tabulation (Alkindi,2018)

2.2.10. Software Simulasi Moldflow Plastic Insight

Software Moldflow Plastic Insight adalah perangkat lunak yang memberikan paduan manufaktur secara detail yang digunakan untuk mensimulasikan, mendesain produk plastik dan cetakan dengan memberikan hasil definitif untuk

aliran, pendinginan dan optimasi desain dengan dukungan untuk proses pencetakan khusus pemodelan berbagai jenis proses injeksi plastik. Tujuannya adalah untuk meminimalkan kegagalan pada saat proses injeksi berlangsung, sehingga mengurangi biaya produksi.

2.2.11. Tahap Simulasi *Moldflow Plastic Insight*

1. *Pre-Processing*

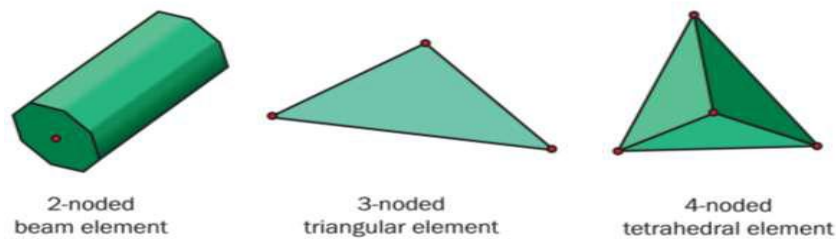
Tahap awal dalam optimasi adalah dengan menggambar geometri produk yang akan di simulasikan menggunakan *software Autodesk Inventor*. Desain yang akan di simulasikan harus berbentuk 3D (model volume). *Software Moldflow Plastic Insight* hanya dapat membaca format desain yaitu : *.Ipt, *.Stl, dan *.IGS apabila desain tidak menggunakan format tersebut *Software Moldflow Plastic Insight* tidak bisa mengkonversikan desain tersebut.

2. *Meshing*

a. Jenis elemen

Untuk menjalankan analisis *Moldflow* bagian desain harus memiliki elemen *mesh* yang tepat dengan membagi jumlah elemen geometri (dominan) dari bagian komponen atau alat menjadi lebih kecil yang disebut juga titik (koordinat dalam ruang) dan digunakan untuk perhitungan dalam *moldflow*. Ada tiga kategori elemen utama, yaitu :

- *Beam* : Terdiri dari dua nodal, bisa digunakan untuk memodelkan runner, saluran pendingin dan lain sebagainya.
- Segitiga : Terdiri dari tiga nodal, bisa digunakan dalam pemodelan produk dan cetakan.
- Tetrahedral : Terdiri dari empat nodal, bisa digunakan di geometri produk, *core, feed system* (pemodelan 3D)



Gambar 2.17 Jenis Elemen Mesh

(Shoemaker,2006)

3. Jenis *Meshing*

Terdapat 3 jenis *meshing* yang dapat digunakan yang merupakan gabungan dari beberapa jenis elemen *meshing* untuk menganalisa produk sebelum melakukan simulasi.

a. *Midplane*

Proses *meshing* yang dilakukan dengan determinasi ketebalan produk, kemudian salah satu permukaan pada pertengahan produk. Untuk menentukan bagian permukaan, berbentuk elemen segitiga yang saling terhubung pada setiap sisi nodalnya. Elemen *beam* dapat digunakan untuk menentukan model geometri tambahan seperti *gate*, *runner*, dan saluran pendingin. Hasil analisa pemodelan metode *midplane* dapat dilakukan pada proses pengisian, pendinginan, *warping* dan penahanan.

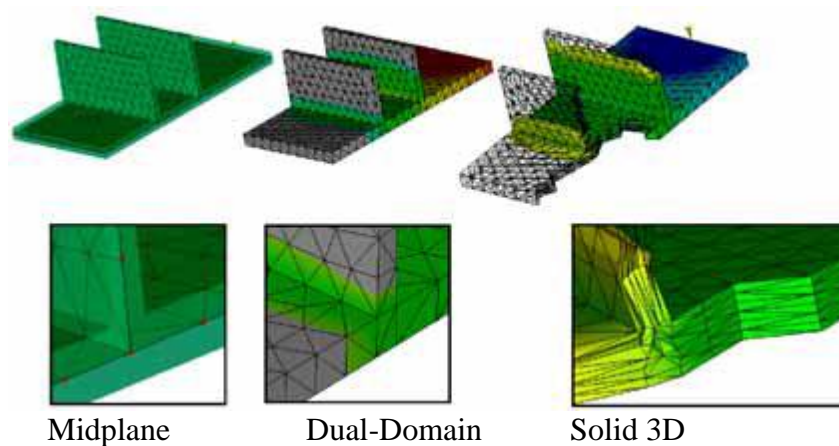
b. *Dual-Domain*

Proses *meshing* dengan metode *dual-domain* memodelkan produk dengan menggabungkan permukaan model elemen segitiga. Model dapat dideskripsikan sebagai sebuah benda berongga dengan permukaan kulit yang tertutup. Jarak antara kedua permukaan luar dari sistem dapat digunakan untuk mendefinisikan ketebalan dari model. Salah satu faktor penting penentu hasil pemodelan adalah kerapatan *meshing* yang diterapkan pada sistem. Analisa hasil pemodelan dengan metode *dual-domain* dapat dilakukan pada proses: pengisian, penahanan, pendinginan, dan *warping*. Pemodelan dengan metode *meshing midplane* dan *dual-domain* memerlukan beberapa batasan asumsi awal untuk menyederhanakan pemodelan, antara lain: cairan plastik

sebagai zat cair *non-newtonian* (melalui modifikasi persamaan *carreau*), aliran zat cair merupakan aliran laminar, gravitasi dan efek inersia pada model diabaikan, konveksi panas di daerah sekitar rongga pada benda juga diabaikan.

c. Solid 3D

Metode *meshing solid 3D*, keseluruhan volume diisi dengan elemen *tetraedral*. Hasil dari *meshing solid 3D* lebih akurat dari dua metode *meshing* yang lain apabila kedua metode yang lain sudah tak mungkin digunakan dan bisa digunakan untuk sistem yang berbentuk rumit dengan beberapa asumsi dan batasan yang diminimalkan. Akan tetapi metode ini membutuhkan waktu lama dalam mensimulasikan dari metode yang sebelumnya (Shoemaker, 2006). Gambar jenis *meshing* dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Type meshing

(shoemaker, 2006)

4. Modeling Mold

Pada proses awal optimasi penulis menggunakan parameter yang sesuai dengan kondisi lapangan, untuk membandingkan hasil setelah di optimasi. Kemudian dilakukan simulasi *moldflow* menggunakan *Thermoplastik Injection Molding* untuk mengetahui analisis dari lokasi *gate* injeksi, proses pengisian, aliran, pendinginan, dan *warp* yang optimal.

5. Material

Pemilihan material saat simulasi penting dilakan sesuai kondisi di lapangan, hal ini disebabkan untuk mengetahui seberapa akurat hasil dari optimasi. Karena setiap jenis bahan dan produsen memiliki spesifikasi tertentu yang nanti mempengaruhi hasil simulasi desain.

6. *Gate Location*

Pemilihan lokasi *gate* penting dilakukan untuk menentukan hasil akhir sebuah produk, langkah awal yang dilakukan penulis adalah mensimulasikan lokasi *gate* sesuai kondisi dilapangan untuk mengetahui seberapa optimalkah kondisi tersebut. Pertimbangan pemilihan lokasi *gate* dilihat dari beberapa faktor seperti model desain, penentuan parameter proses yang digunakan dan nilai-nilai yang digunakan pada pengaturan direkomendasikan oleh produsen material atau sesuai anjuran dari data *base moldflow plastic insight*. Namun paramater ini biasanya hanya digunakan pada tahap awal, karena nilai-nilai tersebut akan berubah seiring dengan proses optimasi yang percobaan yang akan dilakukan.

7. *Runner System*

Sistem sirkuit aliran plastik yang optimal dipengaruhi dari beberapa faktor, tidak hanya dari diameter yang benar, posisi dan letak runner itu sendiri akan tetapi perlu diperhatikan jarak *runner*, sitem *eject* dan pendinginannya. Keseimbangan pola pengisian salah satu faktor penting dalam mendesain sebuah cetakan bagaimana model aliran material ketika melewati cetakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan plastik cair memenuhi cetakan, sehingga *moldmaker* dapat meminimalkan waktu produksi. Dengan bantuan *moldflow*, *moldmaker* dapat mengetahui bagaimana model aliran sirkuit *runner* sesuai dengan analisa produk yang akan di buat.

8. Analisa

Analisa merupakan proses akhir dalam simulasi *moldflow*, ketika desain sudah dirancang kemudian dilakukan pengaturan beberapa parameter sesuai kondisi desain. Selanjutnya program sudah bisa di operasikan dan menganalisa desain sesuai dengan parameter yang sudah di masukan secara otomatis.

2.2.12. Analisa *Moldflow*

1. *Molding window*

Analisis *molding window* dilakukan pada bagian luar benda dan tidak termasuk dalam sistem *runner*. Analisis ini memberikan rekomendasi beberapa parameter proses ideal, seperti suhu peleburan cetakan, temperatur cetakan dan waktu injeksi sebagai pedoman awal saat melakukan analisa yang akan dilakukan .

2. *Fill*

Analisa *fill* dilakukan pada awal simulasi tekanan injeksi saat desain lokasi *gate* sudah di tentukan untuk mengetahui model aliran. Pada proses analisa *fill* dan *holding* dapat memprediksi efisiensi saat proses pengisian rongga cetakan, sehingga dapat mengetahui kualitas atau hasil dari produk.

3. *Gate Location*

Analisa *gate location* sangat penting dilakukan karena akan mempengaruhi kualitas produk. Lokasi *gate* adalah lokasi dimana plastik cair dimasuk ke dalam rongga cetak. Pemilihan lokasi *gate* dipilih berdasarkan parameter-parameter tertentu dengan pertimbangan desain dan kapasitas mesin agar mendapatkan aliran fluida yang paling optimal menggunakan analisa *moldflow*.

4. *Flow*

Analisa *Flow* mensimulasikan tekannan injeksi saat proses *fill* dan *holding* untuk memprediksi aliran material pada rongga cetakan untuk mendapatkan parameter optimal dari sebuah siklus pengisian.

5. *Cooling system*

Analisa *cooling system* memungkinkan para *moldmaker* bisa mengoptimalkan sirkuit pendingin agar pendistribusian temperature dapat seragam, waktu siklus, dan deformasi sehingga lebih efisiensi dari beberapa pemodelan rangkaian sistem pendingin yang telah di desain sebelumnya.

6. *Warpage*

Analisa *warpage* merupakan langkah terakhir untuk melihat bagian penyusutan dari benda. *Warpage* dipengaruhi oleh material, desain benda, desain *runner* dan sistem pendinginan, dan kondisi cetakan. Dengan adanya analisa ini

moldmaker mengetahui bagian yang mengalami penyusutan dan mempelajari serta mengatasi penyebab terjadinya penyusutan pada proses injeksi sehingga produk yang di hasilkan mempunyai ukuran yang presisi.

2.2.13. Design Of Experiment

Design Of Experiment adalah evaluasi secara serentak terhadap dua vaktor atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Untuk mencapai hal ini secara efektif dan sesuai secara statistik, level dari faktor kontrol dibuat bervariasi, hasil dari kombinasi pengujian tertentu diamati dan kumpulan hasil selengkapnya dianalisa untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dan tingkat yang baik, apakah peningkatan atau pengurangan tingkatan tersebut akan menghasilkan perbaikan lebih lanjut (Soejanto,2009).

A. Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah suatu metode baru dalam bidang ilmu teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dari sumber-sumber seminimal mungkin. Metode Taguchi berupaya mencapai sasaran itu dengan menjadikan produk atau proses tidak sensitif terhadap berbagai faktor seperti material perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi operasional. Metode Taguchi juga memiliki kekurangan dibandingkan dengan metode yang lain diantaranya adalah rancangan metode ini mempunyai struktur yang sangat kompleks, dimana terdapat rancangan yang mengorbankan pengaruh interaksi dan ada pula rancangan yang mengorbankan pengaruh utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan. Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut Matriks Ortogonal. Matrik ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter (Soejanto,2009).

B. Rasio S/N

Rasio S/N (Signal-To-Noise Ratio) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data kedalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Jadi, metode perhitungan Rasio S/N tergantung pada karakteristik kualitas, apakah responnya semakin kecil semakin baik, semakin besar semakin baik atau tertuju pada nilai tertentu (Soejanto,2009). Berikut adalah beberapa tipe karakteristik kualitas dari Rasio S/N.

1. *Smaller is better* (STB)

Smaller is better atau semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non negatif. Nilai semakin kecil (mendekati nol adalah yang diinginkan). Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio S/N STB dipersamaan 2.5.

$$SN_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- n : Jumlah pengulangan dari satu percobaan
- yi : Data pengamatan ke-i

2. *Larger is better* (LTB)

Larger is better atau semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan nonnegative. Nilai semakin besar adalah semakin diinginkan. Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio S/N LTB dipersamaan 2.6.

$$SN_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- n : Jumlah pengulangan dari satu percobaan
- yi : Data pengamatan ke-i

3. *Nominal is best* (NTB)

Nominal is best atau tertuju pada nilai tertentu mempunyai karakteristik kualitas dengan nilai atau target tidak nol dan terbatas. Dengan kata lain nilai yang mendekati suatu nilai yang ditentukan adalah yang terbaik. Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio S/N NTB dipersamaan 2.7.

$$SN\ NTB = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

μ : *Mean*

σ : *Deviasi*

C. Analysis of Vaviance (ANOVA)

Menurut Soejanto, (2009) ANOVA adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistik untuk menginterpretasikan data hasil eksperimen. Penggunaan ANOVA bertujuan untuk mengidentifikasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon, sehingga dapat diketahui perkiraan akurasi pada suatu model dapat ditentukan. Rumus perhitungan jumlah kuadrat pada variasi sebagai berikut:

1. ST – Jumlah kuadrat total

Jumlah kuadrat total adalah jumlah penyebaran agregat nilai data individu beberapa level faktor berdasarkan data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.8.

$$ST = \sum y^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

y : Data yang diperoleh dari percobaan

2. Sm – Jumlah kuadran karena rata-rata (mean)

Jumlah kuadrat rata-rata adalah jumlah kuadrat dari nilai rata-rata data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.9.

$$Sm = n \times \bar{y}^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

n : jumlah percobaan

3. SA – Jumlah kuadrat faktor A

Jumlah kuadrat faktor A adalah jumlah penyebaran agregat nilai data individu beberapa level faktor berdasarkan data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.10.

$$SA = \frac{[Total A_1]^2}{n_1} + \frac{[Total A_2]^2}{n_2} - \frac{[Total A]^2}{n_1+n_2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

A_i : level ke i pada faktor A

n_{Ai} : Jumlah percobaan untuk level ke i pada faktor A

4. Se – Jumlah kuadrat error

Jumlah kuadrat error hasil penjumlahan nilai kuadrat error pada lapisan output setiap data dan dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.11.

$$Se = ST - SM - SA \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

ST : Jumlah kuadrat total

SM : Jumlah kuadrat rata – rata

SA : Jumlah kuadrat faktor A

5. ST – Jumlah kuadrat total faktor

Jumlah kuadrat total faktor adalah hasil penjumlahan nilai kuadrat dari semua faktor yang digunakan dan faktor error, dinyatakan sebagai berikut pada rumus 2.12.

$$ST = Sm + SA + Se \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

Sm : Jumlah kuadrat karena rata - rata

SA : Jumlah kuadrat karena faktor A

Se : Jumlah kuadrat error

2.2.14. Eksperimen Konfirmasi

Langkah terakhir dalam proses perancangan percobaan adalah eksperimen konfirmasi. Eksperimen ini dilakukan dengan melakukan dengan suatu pengujian yang menggunakan kombinasi tertentu dari faktor-faktor dan level dari hasil

evaluasi sebelumnya. Menentukan kombinasi level terbaik dari faktor-faktor yang signifikan dapat ditetapkan pada sembarang level. Setelah itu dapat dilakukan pengambilan beberapa sampel dan diamati

Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa. Karena adanya pencampuran didalam kolom, kesimpulan yang diperoleh harus dianggap sebagai kesimpulan awal hingga dilakukan validasi oleh eksperimen konfirmasi. Ketika eksperimen yang digunakan berbentuk faktorial – fraksional dan beberapa faktor memiliki kontribusi terhadap variasi, terhadap kemungkinan bahwa kombinasi terbaik dari faktor dan level tidak nampak pada kombinasi pengujian matriks ortogonal (Soejanto,2009). Metode perhitungan interval kepercayaan (CI) untuk level faktor digunakan formula :

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n}\right)}$$

Keterangan :

$F_{\alpha, v1, v2}$ = Nilai F-ratio dari tabel

α = Resiko, Level kepercayaan = 1 – resiko

$v1$ = Derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan suatu rata – rata dan selalu sama dengan 1 untuk suatu interval kepercayaan

$v2$ = Derajat kebebasan untuk penyebut yang berhubungan dengan derajat kebebasan dari variasi *pooled error*

Ve = Variasi *pooled error*

N = Jumlah pengamatan yang digunakan untuk menghitung rata-rata (mean)

Sehingga, jika rata-rata sesungguhnya adalah $\mu \bar{A1}$, maka

$$\mu \bar{A1} = \bar{A1} \pm CI$$

$$\bar{A1} - CI \leq \mu \bar{A1} \leq \bar{A1} + CI$$

