

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perancangan *cooling system* dan *runner system* yang baik dapat digunakan untuk memproduksi sebuah produk pada *injection molding*. Produk yang dihasilkan diharapkan tidak mengalami cacat atau kegagalan produksi yang akan berakibat pada kerugian produksi pada perusahaan. Untuk meminimalisasi terjadinya cacat perlu dilakukan optimasi desain yang membutuhkan pertimbangan yang sesuai dengan perhitungan dan perancangan *cooling system* dan *runner system*. Adapun penelitian yang sudah dilakukan yang berkaitan adalah sebagai berikut.

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

Penelitian yang dilakukan oleh Wigenaputra dan Sudrajat (2014) menunjukkan bahwa *trial* tanpa *meltflipper* ditemukan ketidakseimbangan aliran di *runner*, karena perbedaan suhu pada *cavity* antara bagian dalam dan bagian luar cetakan sehingga menyebabkan pengisian *cavity* tidak seragam. Sedangkan hasil *trial* dengan *meltflipper* didapatkan aliran yang seimbang di *runner* dan pengisian produk yang seragam kesetiap *cavity*. Kesimpulannya terbukti bahwa terjadi ketidak seimbangan aliran di *runner* pada cetakan injeksi tanpa *meltflipper*, dan terjadi kondisi aliran yang seimbang di *runner* pada cetakan injeksi dengan *meltflipper*.

Menurut Irawan dkk (2017) dengan judul penelitian simulasi desain *cooling system* dan *runner system* untuk optimasi kualitas *top case*, dengan metode

taguchi dengan pengacakan nilai faktor menggunakan matrik *orthogonal* L9 (3^3) sehingga terdapat 9 eksperimen dengan 3 level. Dari penelitiannya disimpulkan bahwa cooling baffle dan cooling conformal dapat meminimalisir nilai *sink mark* dan *shrinkage* pada produk *top case*.

Menurut Holiyan (2017) menunjukkan bahwa pada rentang tekanan 3 sampai 24 MPa pada suhu konstan 260°C jumlah potensi cacat *short shot* akan semakin sedikit selaras dengan kenaikan tekanan. Lebih menarik lagi bahwa pada tekanan 6 MPa cacat *short shot* yang terjadi sudah mencapai nol. Sedangkan pada suhu 195 sampai 280°C dengan tekanan konstan 3 MPa menghasilkan kecenderungan cacat *short shot* yang semakin kecil dengan kenaikan suhu. Menurut Irmawan (2017) dalam hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dari percobaan ke 9 berdasarkan desain faktorial yaitu dengan variasi *holding time* level 3, *holding pressure* level 3, *Back pressure* level 2, dan *Injection pressure* level 1 diperoleh nilai *sink marks* minimum sebesar 0,2 mm dari 9 percobaan yang dilakukan.

Penelitian yang dilakukan Budiyanoro (2016) dengan judul optimalisasi *sink mark Index* pada produk plastik dengan variasi ketebalan ekstrim menggunakan simulasi *moldflow*. Penelitannya menyebutkan bahwa sink mark indek yang tinggi menunjukkan potensi *shrinkage* yang tinggi. Besarnya kedalaman sink marks ditunjukkan oleh nilai sink mark estimate. Kedua hasil tersebut memiliki kaitan langsung dengan nilai *shrinkage* (penyusutan) yang ditunjukkan oleh volumetric *shrinkage*. Untuk mendapatkan nilai sink mark minimum digunakan suhu cairan rendah, suhu cetakan tinggi, tekanan injeksi tinggi, tekanan holding tinggi dan waktu holding sedang hingga tinggi.

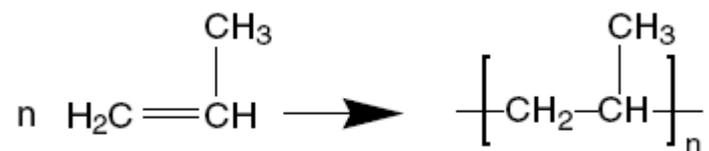
Dengan proses berbasis simulasi akan dapat mengetahui parameter-parameter proses manufaktur yang akan dapat meminimalisasi cacat pada produk dan dapat mengurangi biaya produksi karena kegagalan produk. Penelitian sekarang ini mengembangkan metode dan parameter proses dengan melakukan pengambilan data lapangan yang kemudian akan dioptimalisasi desain dengan simulasi berbasis komputer menggunakan perangkat lunak *Autodesk MoldFlow Plastic Insight 2016*. Penelitian ini dilakukan di UD.RAFI yang berlokasi Desa Tajuk, Kecamatan Siman, Ponorgo. Pada pabrik tersebut masih menggunakan

mesin *injection molding* konvensional yang dalam pengoperasiannya masih manual dengan mengandalkan tenaga manusia. Produk yang dihasilkan salah satunya produk komponen listrik yaitu *T-DOST*. Kasus yang ditemui pada produk tersebut adalah cacat *short shot* dan *sink mark* yang berdampak pada kegagalan produk. Metode awal penelitian ini adalah mensimulasikan produk sesuai dengan parameter proses pada kondisi lapangan, untuk mengetahui faktor dan parameter kegagalan produk menggunakan *software Autodesk MoldFlow Plastic Insight 2016*. Dari penelitian sebelumnya mengembangkan parameter yang digunakan adalah *injection pressure*, *melt temperature*, *mold temperature* dan *holding time* karena terbukti dapat meminimalkan cacat *sink mark* dan *short shot*. Dengan membuat desain *runner* dan *cooling* serta kemudian membandingkannya hasil parameter prosesnya diharapkan mendapatkan hasil simulasi *moldflow* yang optimal dan meningkatkan kualitas produk T-DOST.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Polypropylene (PP)

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



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) Konstanta dielektrik rendah dan insulasi listrik yang baik
- c) Sulit direkatkan, harus ada perlakuan khusus pada permukaannya.

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

Sebagai keluarga *polyolefin*, PP juga mempunyai BJ kurang dari 1 (sekitar 0.905 gr/cm³), bahkan yang terendah diantara kelompok thermoplastik. PP juga sedikit menyerap air karena molekulnya yang non polar. Sifat-sifat lain yang dimiliki antara lain:

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

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

Adapun sifat-sifat pp dapat dilihat pada tabel 2.1

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

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

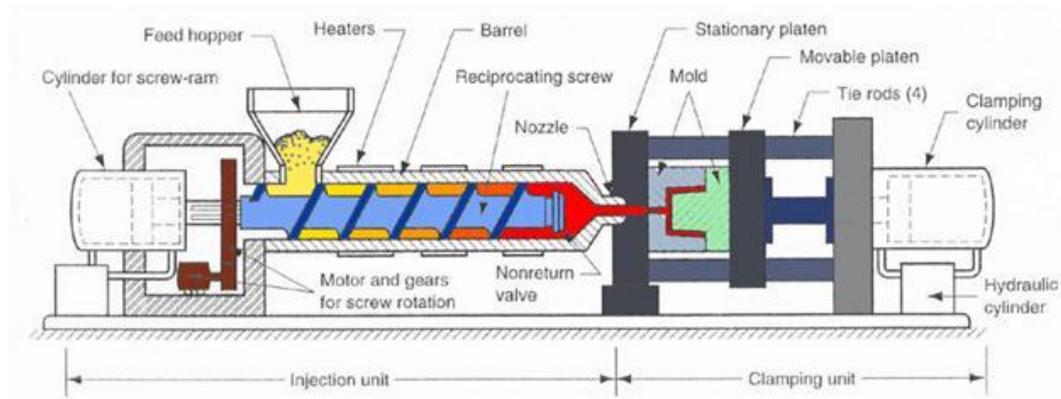
Jika dilihat dari parameter prosesnya, cairan PE lebih sensitive terhadap perubahan suhu jika dibanding PP, *shrinkage* juga lebih besar dalam kasus PE. PE lebih mudah dicairkan sehingga memerlukan energi lebih rendah dibanding peleburan PP. Suhu proses untuk PP sekitar 210 hingga 250 $^{\circ}\text{C}$, 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: Budiyantoro, 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.

Mesin *injection molding* dibagi menjadi tiga bagian besar antara lain:

- 1) *Clamp Unit*,
- 2) *Injection Unit*
- 3) *Molding Unit*



Gambar 2.2. Mesin *Injection molding* (Lera, 2009).

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* memasukan 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 *elektrik/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.

3. *Mold Unit*

Mold Unit merupakan bagian untuk mencetak produk plastik, bentuk benda ataupun produk yang akan dibuat tergantung dari bentuk *modal*, karena setelah material plastik mencair kemudian akan diinjeksikan kedalam sebuah cetakan atau *modal*, yang kemudian didinginkan maka akan terbentuk produk plastik sesuai dengan bentuk *modal*.

2.2.3 Parameter Proses

Hasil yang optimal diperoleh dari parameter proses yang optimal karena parameter proses sangat berpengaruh terhadap proses produksi suatu produk injeksi plastik. Parameter-parameter suatu proses akan berpengaruh juga terhadap biaya produksi karena biasanya untuk menentukan parameter proses perlu dilakukan percobaan, sehingga membuang waktu untuk memperoleh parameter yang optimal. Maka diperlukan penentuan parameter proses pada simulasi berbasis komputer seperti *moldflow* Beberapa parameter proses yang mempengaruhi proses produksi plastik melalui metoda *injection molding* diantaranya : *Melt temperature, holding pressure, holding time, mold temperature, injection time, backpressure* dan sebagainya.

2.2.4 *Short shot*

Short Shot digunakan untuk menjelaskan dimana suatu kondisi lelehan material plastik akan di injeksikan ke dalam cavity tidak mencapai kapasitas yang ideal atau tidak sesuai settingan mesin, sehingga plastik yang di injeksikan ke dalam cavity mengeras terlebih dahulu sebelum memenuhi *cavit*. Cacat *short shot* terjadi karena beberapa factor diantaranya karena pelelehan biji plastic yang tidak sempurna, *injection* yang lambat, tekanan injeksi yang lemah, suhu peleburan yang rendah, suhu *mold* yang rendah, dan udara tidak keluar dari *mold cavity*. Cacat *shortshot* dapat di kurangi dengan jalan meningkatkan suhu material sesuai dengan batasannya, meningkatkan kecepatan injeksi material, mengganti *fluiditas* material dengan yang lebih baik, menstandarisasi ketebalan dinding pada tiap-tiap *cavity*, *supply* material harus selalu berkelanjutan jangan sampai ada jeda (Darmawan, 2018).

Cacat *short shot* sangat penting didalam *injection molding* pada pembentukan plastik, diramalkan masalah pengambilan tempat dipabrikasi terutama pada *short shot*. Simulasi pada *Short Shot* sebagai masalah pendinginan didalam *mold cavity* tak berbentuk polimer. Dikatakan bahwa *Short Shot* adalah perwujudan dari bentuk produk yang diakibatkan oleh momen yang kurang sempurna. Bagian yang kurang merata atau berlubang yaitu jumlah terbesar *Short Shot*. Cacat *Short Shot* juga di perkirakan dari perbedaan suhu bagian atas dan permukaan yang lebih rendah. Didalam *Short Shot* juga dipelajari pabrikasi menyangkut kondisi seperti suhu cetakan, suhu leleh, tekanan, ketebalan dinding dan penyusutan.

Cacat *Short shot* terjadi karena beberapa faktor diantaranya:

- Pelelehan biji plastik yang tidak sempurna
- Injeksi yang lambat
- Tekanan injeksi yang lemah
- Suhu peleburan yang rendah
- Suhu *mold* yang rendah
- Udara tidak keluar dari *mold cavity*

2.2.5 *Sink marks*

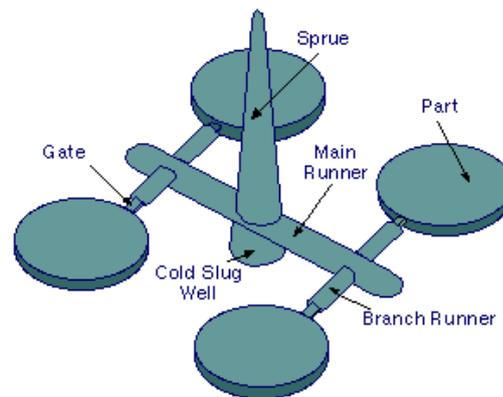
Menurut Sugondo (2008) *sink marks* merupakan salah satu jenis cacat yang dapat timbul karena kondisi proses yang berbeda. *Sink mark* juga dapat diakibatkan oleh penyusutan dari plastik yang meleleh saat pendinginan di dalam *mold*. Untuk mengantisipasi terjadinya cacat *sink mark* dapat dilakukan dengan cara mengalirkan atau menginjeksikan plastik cair secara berlebih, menaikkan *holding pressure*, dan menaikkan tekanan injeksi, akan tetapi dengan cara tersebut dapat menimbulkan cacat *warpage* pada bagian yang tipis. *Sink marks* timbul pada dinding produk yang tebal atau pertemuan dinding dan sirip yang membentuk bagian tebal pada bagian tertentu. Jika dinding luar produk tidak cukup stabil, maka selama proses pendinginan akan tertarik kedalam karena tegangan yang terjadi. Faktor penyebab dapat bersumber dari mesin injeksi, parameter proses, dan material plastik yang digunakan.

Seting parameter proses akan menentukan hasil baik tidaknya dari sebuah produk yang dibuat. Berikut merupakan penyebab terjadinya *sink marks*:

1. Temperatur barrel terlalu tinggi, sehingga akan terjadinya pendinginan tidak merata pada bagian tertentu dari produk.
2. Tekanan yang kecil akan menyebabkan material tidak terdistribusi merata dan telah dingin dan menyebabkan penyusutan permukaan.
3. Waktu cetakan terbuka terlalu cepat akan mengakibatkan pendinginan menjadi tidak maksimal.
4. Pertemuan permukaan dinding dan sirip yang memiliki ketebalan berbeda.

2.2.6 *Runner System*

Runner System merupakan cairan material plastik yang dikeluarkan dari instalasi mesin injeksi mengalir ke dalam *cavity* melalui *sprue* (*sprue bush*), *runner*, dan *gate*. Plastik cair saat melewati *sprue* dan *runner* suhunya menurun sehingga menyebabkan viskositasnya (kekentalan) naik, tetapi oleh panas gesekan pada saat melewati *gate* kembali viskositasnya menurun dan mengisi ke dalam *cavity*. Pada gambar 2.3, menunjukkan beberapa fungsi dari *runner system* (Nakazawa, 2010:50).



Gambar 2.3. *Runner system*

(Sumber: Sutriyono. 2012)

1. *Sprue*

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

2. *Runner*

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

3. *Gate*

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

Perhitungan jarak produk terhadap *sprue*, dapat dihitung dengan *ratio flow path* terhadap *wall thickness*, seperti pada persamaan 2.1

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

dimana, L_p = *flow length* (mm)

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

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

Adapun nilai rasio *flow path wall thickness* di setiap bahan plastik pada cetakan injeksi bisa dilihat di tabel 2.2.

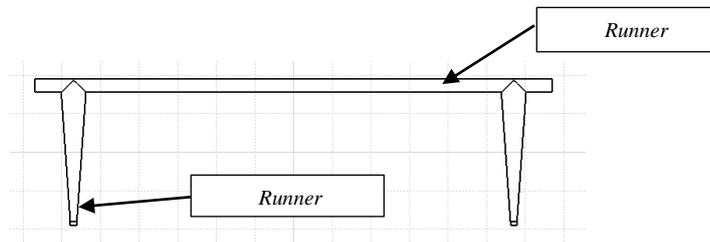
Tabel 2.2. Nilai rasio *flow path* (Sumber: Brydson, 1999)

<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

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.

Pola pengisian cetakan melalui perbaikan perancangan sistem *runner*, dengan perangkat lunak secara otomatis telah dikembangkan, misalnya menggunakan Moldflow. Simulasi digunakan untuk mengubah posisi *runner* untuk menentukan aliran *polymer* yang paling tepat, sehingga dapat meminimalkan waktu pengisian. Selain itu, dengan mengubah bentuk dari penampang *runner* yang dapat menyeimbangkan pengisian rongga *multi-cavity* (Kaswadi, 2017). *Runner* memiliki 2 tipe yaitu :

- a. *Runner* primer merupakan runner utama sebelum masuk cairan plastik masuk ke runner sekunder.
- b. *Runner* sekunder merupakan runner yang mengarah ke *gate* dan menuju langsung ke produk.

Gambar 2.4. Tipe *runner*

Ketika melakukan perancangan sistem *runner*, ada 3 hal utama yang harus dipertimbangkan yaitu sebagai berikut:

- 1) Bentuk dari *runner*
- 2) Letak *runner*
- 3) Ukuran *runner*

Bentuk dari *runner* akan mempengaruhi aliran material plastik dan penurunan tekanan (*preassure drop*) yang timbul akibat terjadinya kontak lapisan yang mengering pada dinding *runner*. Jumlah material efektif yang mengalir dalam *runner* sebanding dengan ratio antara besarnya penampang potong *runner* terhadap keliling kontak pada penampang tersebut.

A		Full Round		Modified Trapezoid		Modified Trapezoid	
(in)	(mm)	(in ²)	(mm ²)	(in ²)	(mm ²)	(in ²)	(mm ²)
1/8	3.2	0.012	8.0	0.016	10.4	0.015	9.7
3/16	4.8	0.028	18.1	0.036	23.4	0.033	21.8
1/4	6.4	0.049	32.2	0.063	41.6	0.059	38.7
5/16	7.9	0.077	49.0	0.099	63.4	0.092	59.0
3/8	9.5	0.110	70.9	0.143	91.6	0.133	85.3
7/16	11.1	0.150	96.8	0.194	125.1	0.181	116.4
1/2	12.7	0.196	126.7	0.254	163.8	0.236	152.4
5/8	15.9	0.307	198.6	0.397	256.7	0.369	238.9

Gambar 2.5 Bentuk penampang *runner*

(sumber : Bryce, 2017)

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

Adapun rumus mencari diameter runner dinyatakan dalam persamaan 2.2

$$D = \frac{W^{\frac{1}{2}} \cdot L^{\frac{1}{4}}}{3,7} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan

D = diameter *runner* (mm)

W = berat produk (g)

L = panjang *runner* (mm)

Bentuk runner mempengaruhi jumlah aliran material plastik dan penurunan tekanan (*pressure drop*) yang timbul akibat terjadinya kontak lapisan yang mengering pada bagian dinding runner.

2.2.7 Gate

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

Untuk mendesain *gate* perlu memperhatikan hal berikut ini

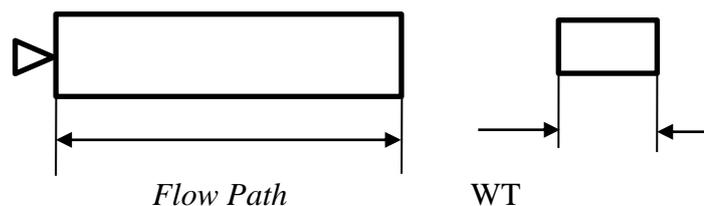
- Posisikan *gate* pada bagian produk yang lebih tebal
- Letakkan *gate* pada bagian yang tersembunyi
- Hindarkan terjadinya cacat weld line pada daerah pembebanan
- Pelepasan *gate* harus semudah mungkin .

- Hindari udara terjebak
- Hindari cacat jetting dengan menempatkan gete dan dimensi. Penentuan gate juga memperhatikan rasio aliran terhadap tebal dinding produk. Posisi *gate* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Contoh letak posisi Gate

Untuk menentukan banyaknya gate yang digunakan harus memperhatikan *ratio flow path* (gambar 2.7) pada material yang digunakan berikut ini rumus menentukan *ratio flow path* dinyatakan pada persamaan 2.3.



Gambar 2.7 Flow path

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

Flow Path : Ratio jalur aliran

WT : Tebal produk

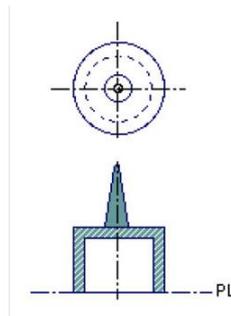
Ratio ini untuk menentukan berapa gate yang dibutuhkan, dan ratio produk akan terkait dengan ratio standar pada bahan plastik, jika tidak terpenuhi dengan side gate maka dapat dipilih dengan *multi gate* atau *sprue gate*. apabila ratio produk > dari ratio bahan plastik sebaiknya menggunakan *multi gate*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

Gate memiliki beberapa tipe antarlain :

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 seperti pada gambar 2.8.

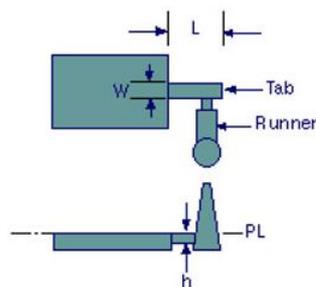


Gambar 2.8. *sprue gate*

(Sumber: Ahmed, 2017)

2. *Tab gate*

Tipe *tab gate* biasanya digunakan pada produk yang memiliki bentuk pipih datar panjang, kemudian terletak disisi yang sempit, tipe *tab gate* dibuat untuk mengurangi tegangan geser yang ada di sekitar *gate*. Gambar *tabe gate* dapat dilihat seperti pada gambar 2.9.

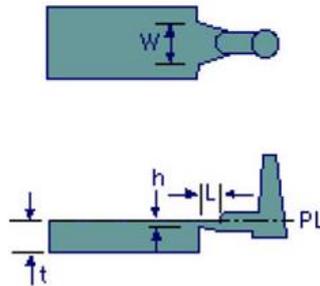


Gambar 2.9 *Tabe gate*

(Sumber: Ahmed, 2017)

3. *Fan Gate*

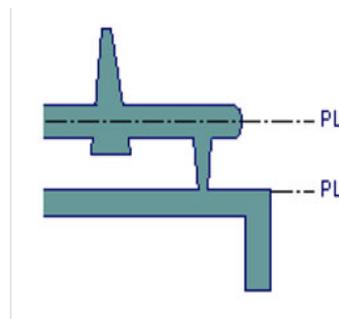
Memiliki bentuk seperti kipas, tipe *fan gate* dibuat untuk membuat aliran yang stabil kebagian produk, memiliki keuntungan untuk menghindari deformasi dan mempertahankan bentuk produk. Gambar *fan gate* dapat dilihat seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Fan Gate*
(Sumber: Ahmed, 2017)

4. *Pin Gate*

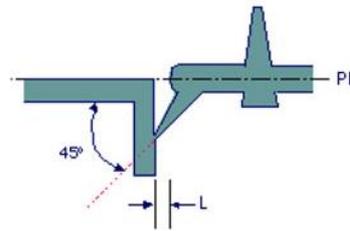
Merupakan tipe *gate* yang hanya digunakan pada konstruksi *three-plate mold*. Tipe *pin gate* dibuat untuk memudahkan produk lepas dengan *gate* dan *runner*, sehingga diameter *gate* dibuat sekecil mungkin. Gambar *pin gate* dapat dilihat seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Pin Gate*
(Sumber: Ahmed, 2017)

5. *Sub Gate*

Merupakan *gate* yang biasa digunakan pada tipe konstruksi *two-plate mold*. Titik letak *gate* sangat kecil berada di area yang sangat kritis, *gate* biasanya dengan mudah ikut dengan produk ketika cetakan terbuka. Gambar *sub gate* dapat dilihat seperti pada gambar 2.12.

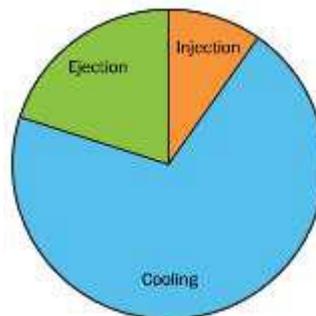


Gambar 2.12 *Sub Gate*

(Sumber: Ahmed, 2017)

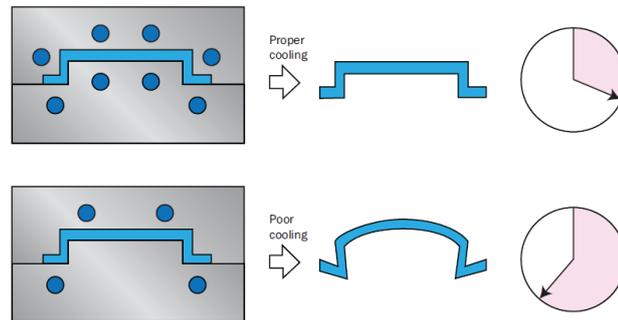
2.2.8 *Cooling Sytem*

Pendinginan cetakan akan berpengaruh terhadap hasil produk injeksi plastik. Desain *cooling* yang baik dapat mengurangi waktu pendinginan, sehingga akan meningkatkan produktivitas dalam pembuatan suatu produk. *Cooling system* juga dapat meningkatkan kualitas bagian dengan mengurangi tegangan sisa dan mempertahankan dimensi produk yang akan dibuat. Berikut waktu siklus pendinginan (lihat Gambar 2.13).



Gambar 2.13 Siklus waktu pendinginan produk (Shoemaker, 2006).

Pendinginan yang efisien dapat meningkatkan kualitas dan produktivitas produk, karena itu letak cooling harus disesuaikan dengan bentuk produk untuk meminimalisasi cacat produk. Adapun gambar dapat dilihat di bawah 2.14.

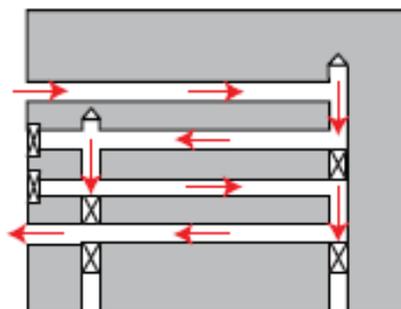


Gambar 2.14 Penempatan cooling yang efisien
(sumber : Shoemaker, 2006)

Cooling mold memiliki 3 jenis yaitu :

- Cooling seri

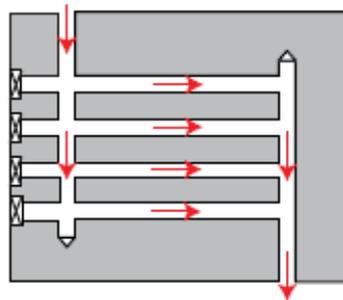
Merupakan saluran pendingin yang terhubung dalam satu penampang atau lubang dari saluran masuk pendingin ke bagian keluar saluran. Pendinginan jenis saluran ini adalah yang paling umum direkomendasikan dan digunakan, jika saluran pendingin berukuran seragam, pendinginnya bisa menstabilkan laju alir turbulennya dengan panjangnya saluran *cooling*. Aliran turbulen memungkinkan panas ditransfer lebih efektif dalam aliran turbulen, perpindahan massa ke arah radial memungkinkan panas dipindahkan oleh konduksi dan konveksi. Akibatnya, efisiensi meningkat drastis. Namun, Anda harus berhati-hati untuk meminimalkan kenaikan suhu dari pendingin karena pendingin akan menyerap semua panas di sepanjang seluruh saluran pipa pendingin. Contoh saluran seri pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 *Cooling seri*
(sumber : Shoemaker, 2006)

- Cooling paralel

Karena karakteristik *cooling* paralel alirannya sejajar, laju aliran sepanjang channel sehingga pendinginan saluran akan berbeda karena perbedaan masing-masing temperatur pendingin aliran pada masing-masing saluran. Tingkat aliran bervariasi yaitu dari inlet pendinginan menuju outlet pendingin semakin meningkat hal ini menyebabkan efisiensi perpindahan panas dari cetakan ke saluran pendingin kurang efektif. Sehingga pendinginan cetakan tidak akan seragam dengan pendinginan jenis paralel (Shoemaker, 2006: 156). Gambar 2.16 menjelaskan pendingin jenis paralel.

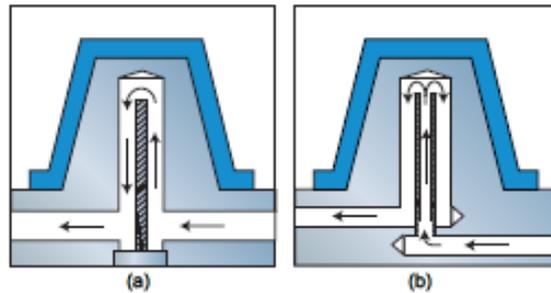


Gambar 2.16 Saluran cooling Paralel

(sumber : Shoemaker, 2006)

Baffle merupakan saluran pendingin yang tegak lurus pada saluran masuk pendingin. Dengan bentuk plat pipih yang memisahkan antar saluran pendingin sisi lainnya dan menjadi setengan lingkaran. Air pendingin mengalir dari satu sisi plat, kemudian membalikkan ujung ke sisi keluar pendinginan dari *baffle*.

Bubbler hampir sama dengan *baffle* yang berbeda pada bentuk pemisah alirannya. *Bubbler* menggunakan pemisah berbentuk tabung kecil. Jadi pendingin mengalir ke bagian bawah tabung dan air pendingin keluar dari atas, seperti halnya air mancur, kemudian mengalir turun di sekitar bagian luar tabung untuk melanjutkan alirannya melalui Saluran pendingin (Shoemaker, 2006: 157-159). Dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 (a) *baffle* (b) *bubbler*

(sumber: Shoemaker, 2006)

2.2.9 Software *Moldflow Plastic Insight*

Moldflow Plastic Insight merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan benda, menganalisa, serta mengoptimalkan desain produk plastik beserta model cetaknya. Model desain dapat dibuat dengan bahan plastik *thermoplast* dan *termoset* sesuai dengan bahan yang diinginkan. Sebelum proses analisa dan optimalisasi kita dapat mengatur parameter proses untuk memperkirakan hasil desain produk. Analisa hasil injeksi tersebut dapat digunakan mold desainer sebagai referensi untuk mendesain konstruksi *molding* dan untuk melihat *defect* yang mungkin terjadi pada konstruksi produk yang akan dibuat. Selanjutnya dari *defect* yang mungkin terjadi mold desainer dapat menentukan apa saja yang bisa dilakukan untuk perbaikan konstruksi agar meminimalkan atau menghindari *defect* pada produk. Tujuan umum dari pemodelan ini adalah meminimalkan biaya penelitian, mereduksi kesalahan yang mungkin terjadi, dan mengurangi biaya kegagalan.

2.2.10 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 *molflow*.

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

2.2.11 *Software Minitab*

Menurut ramadhan (2018) minitab adalah program aplikasi statistika yang digunakan untuk mempermudah pengolahan data statistika. Keunggulan *minitab* dapat digunakan untuk pengolahan data statistika yang bertujuan sosial dan teknik. *Minitab* sudah diakui sebagai program statistika dengan tingkat akurasi taksiran statistik tinggi. Pada minitab ada beberapa pengolahan data yang digunakan untuk analisis regresi, membuat ANOVA, membuat alat pengendalian kualitas statistika, membuat desain eksperimen, membuat prediksi dengan analisis *time series*, analisis realibilitas dan analisis *multivariate*, serta menganalisa data kualitatif yang menggunakan *cross tabulation*.

2.2.12 *Design Of Experiment*

Design Of Experiment adalah evaluasi secara serentak terhadap dua vektor 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 merupakan metode baru dalam bidang ilmu teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk serta proses dalam waktu yang bersamaan untuk menekan biaya. Metode taguchi bertujuan untuk mencapai sasaran dengan menjadikan produk atau proses tidak sensitif dengan berbagai faktor seperti misalnya bahan, alat manufaktur, tenaga kerja, dan kondisi operasional (Soejanto, 2009). Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang berguna untuk:

1. Merancang suatu produk/merancang proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap kondisi lingkungan.

2. Merancang/mengembangkan produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen.
3. Meminimalkan variasi di sekitar target.

Metode Taguchi mempunyai beberapa keunggulan seperti:

1. Desain eksperimen Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah.
2. Desain eksperimen Taguchi suatu proses yang menghasilkan suatu produk yang konsisten dan kokoh terhadap faktor yang sulit dikontrol.
3. Metode Taguchi menghasilkan faktor yang mengenai respon yang optimal.

Metode Taguchi juga mempunyai kekurangan dari metode yang lain diantaranya yaitu metode ini mempunyai struktur yang kompleks. Untuk mengatasi kekurangan itu diperlukan rancangan percobaan yang lebih hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

B. S/N Ratio

Metode Taguchi juga mengembangkan konsep S/N ratio (*Signal-to- Noise Ratio*) untuk eksperimen yang melibatkan beberapa faktor. S/N ratio diformulasikan untuk peneliti memilih nilai level dan faktor untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen atau penelitian. Oleh karena metode perhitungan S/N rasio tergantung pada karakteristik kualitas, apakah respon yang didapat semakin kecil atau semakin besar itu semakin baik itu tidak pasti tergantung tertuju pada nilai tertentu (Soejanto, 2009).

S/N ratio menurut tipe karakteristik yang dituju pada penelitian sebagai berikut :

1. *Smaller is better* (STB)

Smaller the better atau semakin kecil semakin baik merupakan karakteristik kualitas yang secara turut menurut, memiliki nilai non-negatif dan nilai terdiri dari nol sampai tak terhingga (∞) dimana pada nilai *defect* atau cacat yang diinginkan adalah nol. Sehingga rasio S/N STB dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$SN\ STB = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

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 2.5.

$$SN\ LTB = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

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 2.6.

$$SN\ NTB = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

μ : *Mean*

σ : *Deviasi*

C. *Analysis of Variance* (ANOVA)

Menurut Soejanto, (2009) ANOVA merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistik. Penggunaan ANOVA bertujuan untuk mengidentifikasi kontribusi suatu faktor sehingga dapat diketahui perkiraan akurasi pada suatu model atau suatu permasalahan. 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 2.7.

$$ST = \sum y^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

y : Data yang diperoleh dari percobaan

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

Jumlah kuadrat rata-rata adalah jumlah kuadrat dari nilai rata-rata data yang diperoleh yang dinyatakan sebagai berikut dalam rumus 2.8.

$$Sm = n \times \bar{y}^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

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 2.9.

$$SA = \frac{[Total A_1]^2}{n_1} + \frac{[Total A_2]^2}{n_2} - \frac{[Total A]^2}{n_1+n_2} \dots\dots\dots(2.9)$$

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 2.10.

$$Se = ST - SM - SA \dots\dots\dots(2.10)$$

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 berikut pada rumus 2.11.

$$ST = S_m + S_A + S_e \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

S_m : Jumlah kuadrat karena rata - rata

S_A : Jumlah kuadrat karena faktor A

S_e : Jumlah kuadrat error

2.2.13 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

A = 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

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

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