

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Injection molding adalah salah satu mesin yang banyak digunakan untuk mencetak suatu produk seperti kemasan makanan, *case* elektronik, alat perkakas dan lain sebagainya. Dalam proses produksi suatu produk, hasil yang didapat tidak selalu sesuai dengan yang diharapkan. Pada kenyataannya untuk memproduksi satu produk baru diperlukan beberapa *trial and error* untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Penggunaan metode *trial and error* untuk mendapatkan parameter proses yang optimal biasa dilakukan untuk menghilangkan cacat yang terjadi pada produk namun akan berlangsung lama dan meningkatkan biaya. Beberapa cacat yang sering didapatkan dalam proses *injection molding* adalah *short shot*, *sink mark*, *shrinkage*, *flash*, *black dots* dan lainnya (Shajan, 2012). Optimalisasi parameter proses injeksi adalah salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan cacat dan mengurangi *cycle time* pada produk. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan relevan dengan penelitian ini.

Neeraj dkk (2012) dalam penelitiannya membahas cara mereduksi *cycle time* pada produk DVD-R berbahan *polycarbonate* yang pada produksi sebelumnya memakan waktu 3,0 detik menjadi lebih rendah 2,7 detik dengan menggunakan metode DOE. Penelitian tersebut melakukan optimalisasi pembukaan penutupan *mold*, *cooling time*, *holding time* dan *robot take out time*. Dengan menurunkan waktu dari *cooling time*, *holding time* dan *robot take out time*, *cycle time* yang dibutuhkan untuk produk DVD-R menjadi lebih rendah yaitu 2,7 detik dan dengan *cycle time* yang lebih rendah maka biaya yang dikeluarkan menjadi lebih rendah. Selain dapat menurunkan *cycle time* dan mengurangi biaya penelitian ini juga dapat meningkatkan kualitas produk.

Rathi dkk (2012) pada penelitiannya dalam mengurangi cacat *short shot* yang terjadi pada suatu produk berbahan PVC. Penelitian ini menggunakan metode *taguchi*, metode *analysis of variance* (ANOVA) dan pemodelan matematika untuk mengoptimalkan parameter prosesnya. Dengan percobaan sebanyak 32 kali didapatkan satu parameter optimal yaitu *injection pressure* (85,125 bar), *mold closing speed* (90, 200, mm/s), *mold pressure* (80,90 bar), *back pressure* (15,40 bar), *screw speed* (55,7 rpm), *barrel temperature* (138,170 °C).

Hartono dkk (2016) melakukan optimalisasi parameter proses pada produk pot bunga berbahan *polypropylene*. Setelah dilakukan percobaan injeksi terdapat beberapa hasil produk yang cacat. Dengan metode *taguchi*, penelitian yang dilakukan berhasil mendapatkan kombinasi parameter proses yang optimal dan meminimalkan cacat pada produk. Parameter proses optimal didapat dengan temperatur injeksi 255 C, kecepatan injeksi 99 m/s, *clamping force* 75 m/s², *holding time* 5 detik dan tekanan injeksi 66 atm.

Kaswadi dkk (2017) dalam penelitiannya tentang optimalisasi perancangan *runner* dan *gate* material *polypropylene* dengan simulasi *moldflow insight* 2016. Pada penelitian tersebut terdapat suatu masalah yang menyebabkan cacat pada produk plastik *multi cavity* yang diteliti. Penelitian ini mengoptimalkan *runner* dan *gate* untuk mendapatkan hasil yang optimal. Metode DOE 3 faktor dan 3 level digunakan dalam penelitian ini sehingga didapatkan ukuran *runner cavity* 1 ukuran 8 mm, lebar *gate* 10 mm dan tebal *gate* 0,8 mm. Data tersebut telah disimulasikan dan mendapatkan hasil yang optimal dibandingkan dengan desain sebelumnya.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Neeraj dkk (2012), Rathi dkk (2012), Hartono dkk (2016) dan Kaswadi dkk (2017) diatas digunakan sebagai referensi dan acuan dari penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang optimal. Penelitian ini menggunakan produk tempat nasi yang diberikan oleh PT. ATMI IGI CENTER dimana terdapat masalah yaitu terjadi *short shot* pada

produk dan *cycle time* yang terlalu lama. Produk tersebut menggunakan material *polypropylene* yang diproduksi dengan mesin injeksi kapasitas 160 ton, 1 *cavity*, *direct gate*, menggunakan *stripper* untuk *ejecting*, *cooling* menggunakan tipe *baffle*. Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya menyarankan untuk dilakukan optimasi pada *cooling time*, *holding time*, *melt temperature*, *mold temperature*, *injection pressure* dan *injection speed*. Beberapa parameter proses tersebut akan dikembangkan dan di optimalisasi untuk meminimalkan *cycle time* dan mengeliminasi *short shot*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Polimer

Polimer adalah senyawa *makromolekul* yang terdiri dari susunan ulang *monomer* yang saling berkaitan. Jika *monomer* berbeda jenis disebut dengan *kopolimer* dan jika *monomer* sejenis disebut *homo* polimer. Polimer yang ditambahkan *additive* tertentu akan menghasilkan material yang disebut plastik. Plastik terbagi menjadi 3 kelompok yaitu *thermoplast*, *thermoset* dan *elastomer*.

a. *Thermoplast*

Thermoplast adalah polimer yang memiliki berat molekul yang tinggi dan tidak terikat secara *cross link* tetapi berstruktur linier yang panjang dan bercabang. *Thermoplast* diikat dengan gaya van der Waals yang relatif lemah. Material *thermoplastik* jika dipanaskan dengan ketebalan yang tinggi akan mencair karena gaya intermolekulnya diperlemah sehingga mudah dibentuk dengan cetakan. Jika *thermoplastik* didinginkan maka akan terjadi solidifikasi atau penggumpalan kembali (Mawardi dkk, 2015). Beberapa contoh material dari kelompok *thermoplast* adalah *Polypropylene*, *polyethylene*, *polycarbonate*, *polystyrene*, dan lainnya.

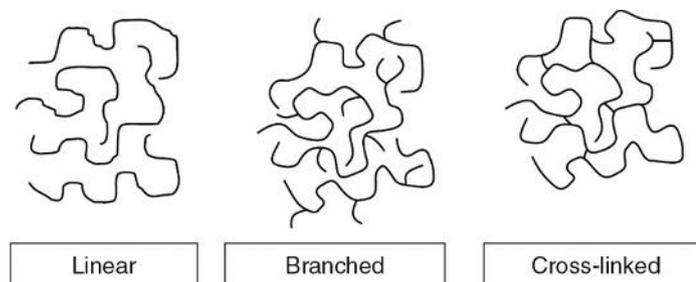
b. *Thermoset*

Thermoset terdiri dari beberapa ikatan silang (*cross linked*) sehingga membentuk bahan yang lebih keras dan kaku. *Thermoset* mengalami perubahan kimiawi dan struktural selama proses perlakuan *thermal* yaitu dengan struktur jaringan yang bisa dikatakan sebagai struktur hubung-silang. Pemanasan kembali pada material *thermoset* dapat menimbulkan perubahan kimiawi. Contoh material kelompok *thermoset* adalah *epoxy*, *melamine*, *bakelit*, dan lainnya.

c. *Elastomer*

Elastomer merupakan salah satu polimer yang dapat kembali ke bentuk semula setelah diberikan gaya dan kemudian dilepaskan. Sifat yang dapat kembali pada bentuk semula pada *elastomer* disebabkan karena memiliki ikatan silang dalam struktur molekulnya. *Elastomer* akan terurai jika dipanaskan melebihi suhu maksimum dan dapat dilarutkan dalam pelarut seperti *benzene* dan *metil etil keton*. Beberapa contoh elastomer adalah *styrene butadine rubber*, *nitrile butadine rubber*, *FPM*, dan lain sebagainya.

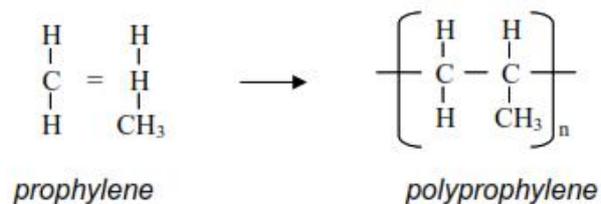
Pada penelitian ini digunakan material *polypropylene* yang termasuk dalam kelompok *thermoplast*. Polimer memiliki struktur *linear*, *branched* dan *cross link* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Struktur polimer *linier*, *branched* dan *cross-linked* (Charles, 2018)

2.2.2. Polypropylene

Polypropylene adalah hasil dari penguraian *petroleum (naftan)* dengan memberi *hydrogen gas petroleum* pada pemecahan minyak da gas alam. Pada proses polimerisasinya diberi bantuan katalis *zieglar natta* seperti Gambar 2.2 berikut. *Polypropylene* memiliki ketahanan terhadap kimia yang baik, kekuatan dan kekakuan yang baik, mudah diproses dengan injeksi dan ekstrusi serta harga yang relatif rendah. Material *polypropylene* direkomendasikan menggunakan parameter proses injeksi dengan temperatur 220-250 C dan memiliki *physical properties* seperti pada Tabel 2.1 berikut.



Gambar 2.2 Proses polimerisasi *polypropylene* (Amri, 2009)

Tabel 2.1 Properties polypropylene (Budiyantoro, 2009)

Sifat Phisis				
Density	0,9 – 0,91 g/cm ²			
Crystallinity	60 to 70 %			
Sifat Mekanis				
E Modulus (MPa)	1300 to 1800			
Torsional stiffnes (N/mm ²)	400			
Flexural creep modulus (1-min) (N/mm ²)	1100			
Shore Hardnes D	72			
Ball indentation hardness (30 S) (N/mm ²)	70			
Charpy Impact strength (un-notched)	No Break			
Charpy notched impact (Kj/m ²) 23°C / 0°C	12 / 4			
Processing Temperatur Injection Molding				
Melt Temperatur (°C)	Injection Pressure (Bar)	Hold Pressure (Bar)	Shrinkage (%)	Post Shrinkage (%)
250-270	>1000	0,5 to 1 Inj. P.	1,0-2,5	0,1-0,5

2.2.3. *Injection Molding*

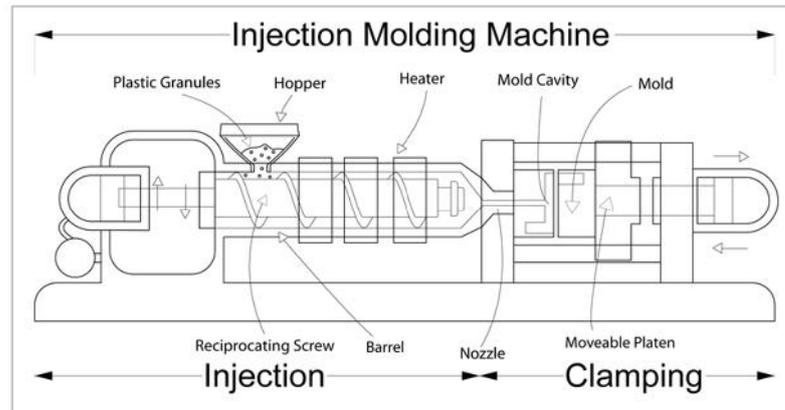
Injection molding merupakan salah satu metode untuk mencetak material thermoplastik. Pencetakan tersebut dapat terjadi dimana material yang diinjeksikan oleh *screw* ke cetakan dari dalam *barrel* bergesekan dan dipanaskan sehingga material tersebut meleleh. Material yang terisi pada cetakan di dinginkan dan kembali mengeras sesuai dengan cetakan yang dibentuk. Secara umum *injection molding* adalah poses pembentukan suatu produk dari material plastik (*pellet*) yang diinjeksikan kedalam cetakan dan membeku sesuai dengan bentuk cetakan. Bentuk dari mesin *injection molding* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Bentuk mesin *injection molding* (Goodship, 2004)

2.2.4. *Bagian mesin injection molding*

Secara umum mesin *injection molding* dibagi menjadi 3 bagian besar yaitu *injection unit*, *mold unit* dan *clamping unit*. Bagian *injection molding* dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Bagian mesin *injection molding* (Rockey, 2018)

1. *Injection unit*

Bagian *injection unit* adalah salah satu bagian yang penting untuk memanaskan dan menekan material plastik kedalam cetakan. Bagian ini terdiri dari beberapa part kecil berikut.

a. *Motor and gear unit*

Bagian ini berfungsi menghasilkan putaran untuk memutar *screw* pada *barrel*. *Gear unit* berfungsi untuk menyalurkan putaran dari motor ke *screw*.

b. *Feed Hopper*

Hopper berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan material plastik sebelum diinjeksikan. *Hopper* berperan penting untuk menjaga dan mengatur kelembapan material agar hasil cetakan menjadi lebih berkualitas.

c. *Heater*

Heater adalah pemanas yang diletakan di *barrel* yang berfungsi untuk memanaskan material sesuai dengan zonanya masing-masing. *Heater* biasanya dapat diatur tingkat panasnya di *display* mesin injeksi.

d. *Barrel*

Barrel merupakan tempat *screw* menekan material plastik dan bagian ini diletakan *heater* untuk mengatur suhu leleh dari material plastik yang diinjeksikan.

e. *Screw*

Screw adalah bagian yang berputar pada *barrel* dan menekan material plastik menuju cetakan. *Screw* memiliki 3 zona yaitu pengumpanan, kompresi dan pengisian.

f. *Nozzle*

Nozzle berfungsi untuk mengalirkan material yang sudah meleleh ke dalam cetakan. *Nozzle* di desain berbentuk kerucut untuk meningkatkan tekanan material ke cetakan.

2. *Mold unit*

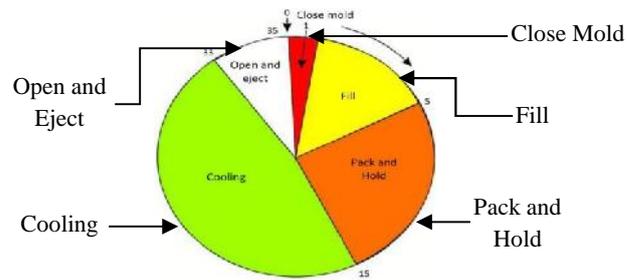
Mold unit merupakan bagian yang sangat penting untuk mencetak material yang sudah di injeksikan. *Mold unit* di desain sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Di dalam *mold* terdapat *cooling* yang berfungsi untuk mempercepat pendinginan material yang sudah diinjeksikan ke cetakan.

3. *Clamping unit*

Clamping unit adalah bagian yang berfungsi untuk mengatur gerak dan mencekam *mold*. Bagian ini juga berfungsi sebagai penahan *mold* dari tekanan yang dihasilkan saat injeksi material berlangsung.

2.2.5. *Cycle time*

Cycle time secara umum diartikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu produk dengan proses *injection molding*. Dalam *injection molding cycle time* sangat penting karena dapat menyebabkan biaya yang dikeluarkan semakin murah atau semakin mahal. *Cycle time* meliputi *mold closing*, *fill/injection*, *packing*, *cooling*, *plasticizing*, *mold opening* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



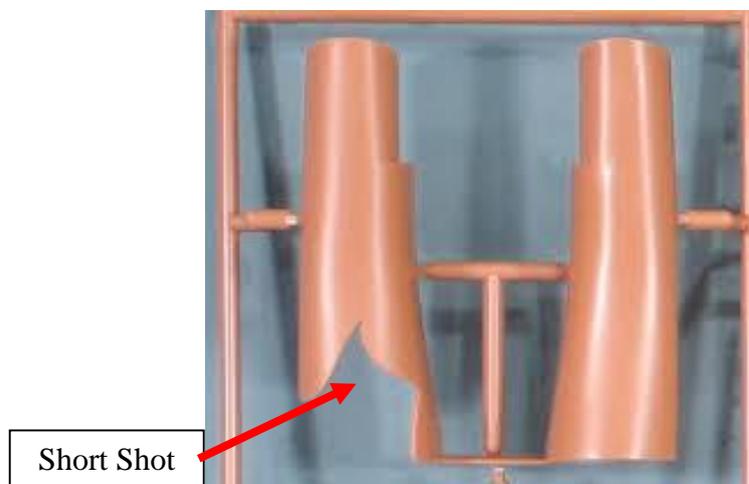
Gambar 2.5 Skema *Cycle Time* (Jahan, 2017)

2.2.6. Cacat Produk

Dalam produksi plastik dengan menggunakan *injection molding* tidak selalu didapatkan hasil yang maksimal. Beberapa produk yang cukup kompleks biasanya terdapat cacat yang dapat mengganggu fungsi dari produk yang dihasilkan dan bahkan tidak dapat digunakan. Cacat pada produk yang sering terjadi adalah *short shot*, *sink mark*, *weld line*, *jetting* dan lainnya.

a. *Short shot*

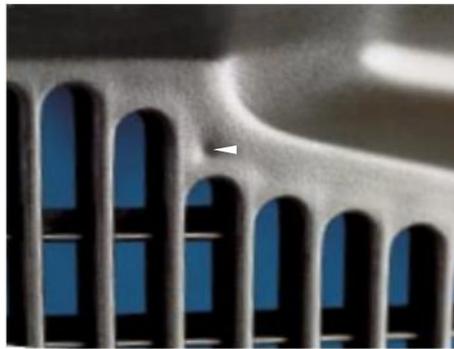
Short shot merupakan salah satu kondisi produk yang tidak terisi penuh oleh material plastik. *Short shot* terjadi karena beberapa hal yaitu performa *molding*, karakteristik viskositas material plastik, desain cetakan, parameter proses yang kurang tepat dan lainnya. Beberapa contoh *short shot* yang terjadi pada produk ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Contoh *short shot* pada produk (Tresno, 2010)

b. *Sink mark*

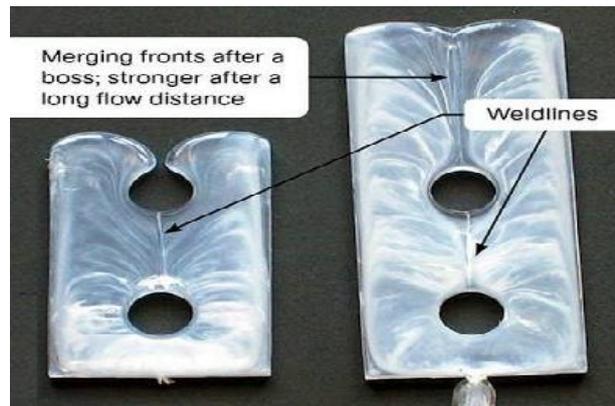
Sink mark adalah terbentuknya cekungan pada permukaan produk yang tidak diharapkan. *Sink mark* juga disebutkan jika terjadi perbedaan ketebalan produk yang pada desain awalnya sama. *Sink mark* sangat berpengaruh terhadap penampilan jika terjadi cekungan dipermukaan yang mudah terlihat pengguna. Beberapa penyebab terjadinya *sink mark* karena *cooling* yang kurang tepat, suhu yang terlalu tinggi dan parameter proses yang kurang tepat. Gambar 2.7 berikut menunjukkan terjadinya *sink mark* pada produk.



Gambar 2.7 Contoh *sink mark* pada produk (BASF, 2016)

c. *Weld line*

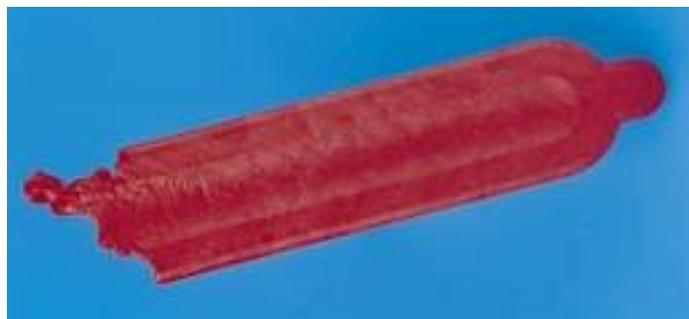
Weld line adalah salah satu cacat yang sebenarnya bisa di biarkan terjadi jika produk yang tidak memerlukan kualitas tampilan yang menarik tetapi dapat memberikan fungsi yang baik. Jika produk memerlukan kualitas permukaan yang baik maka *weld line* menjadi masalah yang cukup mengganggu karena terjadi garis pertemuan cairan yang terlihat jelas. Penyebab terjadinya *weld line* karena temperatur *mold* yang terlalu rendah, waktu pendinginan yang terlalu singkat, titik antara injeksi dan transfer terlalu dini. Berikut ini Gambar 2.8 menunjukkan cacat *weld line* pada produk.



Gambar 2.8 Contoh cacat *weld line* pada produk (John, 2013)

d. *Jetting*

Jetting adalah suatu cacat pada produk yang menyebabkan permukaan produk terlihat bekas aliran material yang beku. *Jetting* terjadi karena posisi *gate* yang kurang tepat hingga menyebabkan aliran yang masuk kedalam cetakan menjadi bergelombang dan saat membeku masih terlihat bentuk alirannya. Contoh dari cacat *jetting* pada produk ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Jetting* pada produk (BASF, 2016)

2.2.7. *Design Of Experiment (DOE)*

Design of experiment merupakan salah satu pendekatan pada suatu percobaan atau penelitian dengan mengumpulkan informasi yang berhubungan dengan penelitian tersebut yang kemudian di optimalisasi. Dalam penelitian ini untuk mencari parameter proses yang tepat dapat menggunakan metode *Design of experiment* dengan mengumpulkan beberapa faktor dan variabel dari parameter proses yang dilakukan.

Beberapa variabel yang telah dimasukan akan terlihat jika terdapat perubahan, dengan begitu pengoptimalan suatu penelitian menjadi lebih tersusun dan sistematis.

DOE sering digunakan oleh beberapa industri manufaktur untuk meningkatkan produksi, kuantitas dan kualitasnya. Kelebihan yang dimiliki metode ini adalah dalam beberapa penelitian dapat sekaligus meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya. Beberapa metode *Design of experiment* yang sering digunakan diantaranya metode taguchi dan *S/N ratio*.

a. Metode Taguchi

Metode taguchi adalah metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal tersebut didapatkan melalui optimalisasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang biasa disebut dengan perancangan parameter proses. Metode taguchi merupakan metodologi teknik untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas selama penelitian dan pengembangannya agar didapatkan produk yang berkualitas serta biaya yang lebih rendah (Wahjudi dkk, 2001).

b. *Signal to noise ratio (S/N Ratio)*

Signal to noise ratio merupakan logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadrat yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. *S/N ratio* dapat mengukur tingkatan unjuk kerja dan efek dari factor noise dari unjuk kerja tersebut dan mengevaluasi stabilitas unjuk kerja dari karakteristik mutu *output* (Wahjudi dkk, 2001). Semakin tinggi unjuk kerja jika diukur dengan *S/N ratio* maka kerugiannya akan semakin mengecil. Berikut ini adalah beberapa jenis dari *S/N Ratio* yaitu:

1. Nominal The Best (NTB)

Nominal the best merupakan karakteristik kualitas yang kontinu dan non negatif yang memiliki nilai dari 0 sampai tak terhingga. Target yang diharapkan NTB adalah selain 0 dan bilangan terbatas. Rumus S/N ratio NTB ditunjukkan pada persamaan 2.1 berikut.

$$S_N = -10 L \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots\dots\dots 2.1$$

2. Smaller The Better (STB)

Smaller the best adalah suatu karakteristik kualitas yang kontinu dan non negatif yang memiliki nilai dari 0 sampai tak terhingga. Nilai defect STB yang diinginkan adalah 0, sehingga S/N ratio STB dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$S_S = -10 L \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots\dots 2.2$$

3. Larger The Better (LTB)

Larger the best merupakan suatu karakteristik kualitas kontinu dan non negatif dimana memiliki nilai dari 0 sampai tak terhingga. Nilai yang diharapkan LTB adalah sebesar mungkin atau selain 0. Rumus S/N ratio LTB dapat dihitung dengan persamaan 2.3 berikut.

$$S_L = -10 L \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots 2.3$$

c. *Analysis of Variance* (ANOVA)

ANOVA adalah salah satu ilmu teknik yang secara kuantitatif dapat memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada beberapa pengukuran respon. ANOVA biasa digunakan dalam proses optimalisasi karena dapat mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi parameter proses dapat diperkirakan. Pada matriks orthogonal, ANOVA dapat dilakukan dengan perhitungan berdasarkan jumlah dari kuadrat (*sum of square*) pada masing-

masing kolom. Persamaan 2.4 hingga 2.8 berikut menunjukkan perhitungan jumlah kuadrat pada ANOVA.

1. Jumlah kuadrat total faktor (S_T)

$$S_T = S_A + S_m \dots\dots\dots 2.4$$

Catatan:

S_m : Jumlah kuadrat rata-rata

S_A : Jumlah kuadrat faktor A

2. Jumlah kuadrat faktor (S_A)

$$S_A = \left[\sum_{i=1}^K \left(\frac{A_i^2}{N_A} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots 2.5$$

Catatan:

A_i : Level ke I pada faktor A

N_A : Jumlah percobaan untuk level I pada factor A

3. Jumlah kuadrat total (S_T)

$$S_T = \sum_{i=1}^N y^2 \dots\dots\dots 2.6$$

Catatan:

N : Jumlah dari percobaan

Y : data dari percobaan

4. Jumlah kuadrat error (S_e)

$$S_e = S_T - S_A \dots\dots\dots 2.7$$

Catatan:

S_T : Jumlah kuadrat total

S_A : Jumlah kuadrat faktor

5. Jumlah kuadrat rata-rata (S_m)

$$S_m = n x \hat{y}^2 \dots\dots\dots 2.8$$

Catatan:

n : Jumlah dari percobaan

\hat{y}^2 : Rata-rata hasil percobaan

d. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan salah satu pengembangan dari metode desain eksperimen. Eksperimen konfirmasi ini sering dilakukan para peneliti untuk mendapatkan data yang valid setelah dilakukan beberapa pengujian. Eksperimen konfirmasi sangat penting dan direkomendasikan untuk memverifikasi hasil dari pengujian atau penelitian akhir (Ross, 1996). Dengan melakukan eksperimen konfirmasi hasil penelitian yang telah diprediksi menjadi yang terbaik dapat dibuktikan sehingga hasil penelitian tersebut dapat langsung diterapkan. Jika hasil eksperimen konfirmasi berbeda maka dapat dilakukan dengan mengevaluasi desain eksperimen dan melakukan eksperimen tambahan sehingga didapatkan hasil yang optimal.

Eksperimen konfirmasi dapat dilakukan dengan cara berikut :

1. Merancang kondisi yang paling optimum untuk faktor dan level signifikan.
2. Melakukan pooling up faktor error
3. Menghitung tingkat kepercayaan (), rata-rata prediksi (μ) dan menghitung interval kepercayaan (CI)

Eksperimen konfirmasi dapat dinyatakan berhasil jika hasil dari eksperimen konfirmasi dekat dengan nilai yang telah diprediksi. Perhitungan eksperimen konfirmasi didapatkan dari rumus berikut:

1. μ Prediksi

$$\mu \text{ prediksi} = \bar{y} + (\bar{A}_3 - \bar{y}) + [(\bar{A}_3\bar{B}_1 - \bar{y}) - (\bar{A}_3 - \bar{y}) - (\bar{B}_1 - \bar{y})] + (\bar{D}_2 - \bar{y}) \dots\dots\dots 2.9$$

2. Confidence Interval (CI)

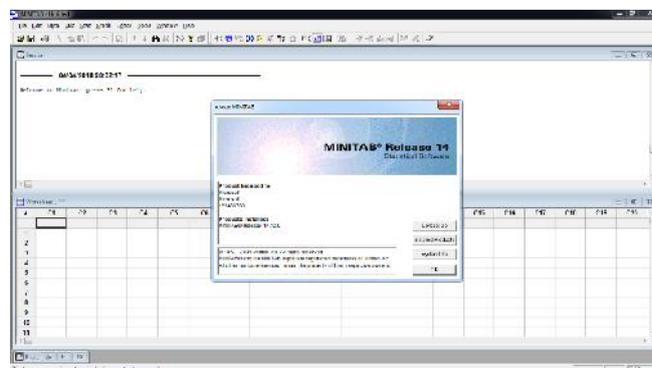
$$CI = \pm \sqrt{F_{(\alpha, v, v)} \times MSe \times \frac{1}{n_e}} \dots\dots\dots 2.10$$

2.2.8. Software Autodesk Moldflow Synergy

Autodesk moldflow synergy adalah salah satu aplikasi yang sering digunakan dalam proses simulasi injeksi plastik pada industri modern (Budiyantoro, 2016). Aplikasi ini dapat melakukan simulasi injeksi dan menganalisis *gate location* yang direkomendasikan, *molding window* untuk mendapatkan rekomendasi parameter yang terbaik, *fill* untuk mengetahui proses masuknya material sehingga dapat dioptimalisasi jika terjadi kejanggalan, analisis *cool* untuk memberikan hasil analisa dan simulasi pendinginan saat injeksi dan beberapa fitur analisis lainnya. Dengan aplikasi ini dapat mengurangi tahapan *trial and error* secara langsung di mesin injeksi yang memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit.

2.2.9. Software Minitab

Minitab merupakan salah satu aplikasi yang sering digunakan dalam perhitungan atau penelitian statistik. Minitab menyediakan beberapa jenis perintah untuk mengolah data statistik dengan memasukan data, rekayasa data, pembuatan grafik dan beberapa analisis statistik lainnya. Dengan menggunakan aplikasi ini perhitungan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan lebih akurat. Minitab dapat digunakan untuk mengolah data dengan *metode basic statistic, regresi, DOE, ANOVA, multivariate* dan lainnya. Gambar 2.10 berikut ini menunjukkan halaman awal dari aplikasi minitab.



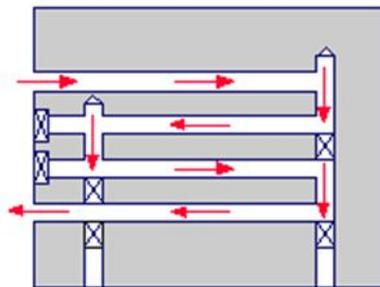
Gambar 2.10 Aplikasi Minitab

2.2.10. Sistem pendingin (*Cooling System*)

Dalam proses injeksi terdapat satu tahapan pendinginan yang berfungsi untuk mendinginkan produk setelah diinjeksikan. Sistem pendinginan ini sangat penting karena tahapan pendinginan sangat berpengaruh dengan waktu dari keseluruhan produksi (*cycle time*). Dari beberapa penelitian sebelumnya disarankan untuk mereduksi waktu pendinginan atau mengoptimalkan system pendinginan. Beberapa *layout* dari *cooling system* yang sering digunakan adalah *series*, *parallel*, *baffle*, *bubbler* dan *conformal*.

a. *Layout series*

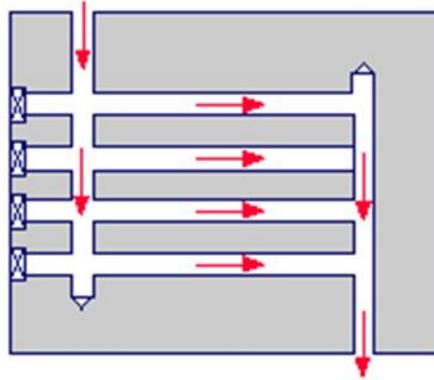
Layout series adalah *layout* yang sering digunakan atau direkomendasikan dalam perancangan system pendingin. Perancangan *design layout* ini harus dilakukan dengan hati-hati karena jika tidak tepat panas akan berkumpul di sepanjang jalur pendinginan. Gambar 2.11 menunjukkan *layout series*.



Gambar 2.11 Layout Series (Shoemaker, 2006)

b. *Layout parallel*

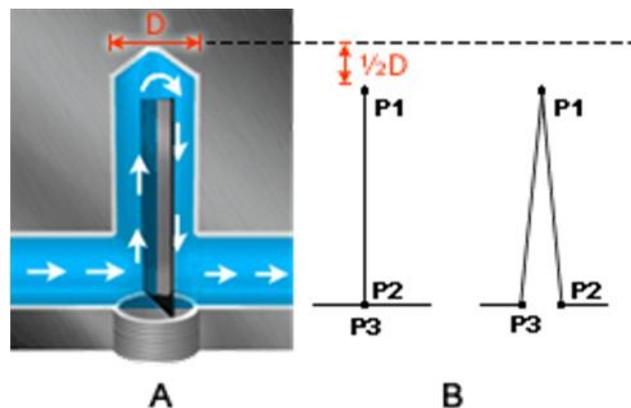
Layout parallel merupakan salah satu *layout* yang memiliki karakteristik aliran sejajar. Kekurangan dari *layout* ini adalah laju aliran fluida yang berbeda sehingga menyebabkan perpindahan panasnya berbeda-beda pada setiap saluran. Berikut ini Gambar 2.12 menunjukkan desain *layout parallel*.



Gambar 2.12 Layout Parallel (Shoemaker, 2006)

c. *Layout baffle*

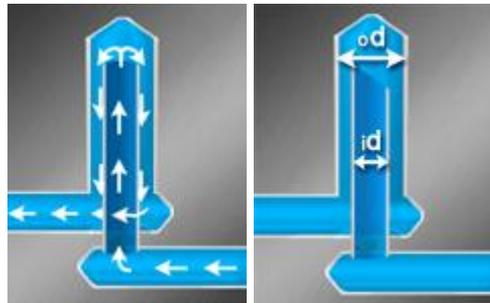
Baffle adalah desain pendingin yang berbentuk tabung namun didalamnya dibor dan disisipkan suatu plat untuk membedakan jalur masuk dan keluarnya fluida. Fluida mengalir masuk dari satu sisi dan keluar dari sisi lainnya dengan membawa panas dari cetakan. *Layout* ini biasa digunakan untuk produk yang memiliki kedalaman yang sempit. Pada Gambar 2.13 menunjukkan desain *layout baffle*.



Gambar 2.13 Layout baffle (Autodesk, 2018)

d. *Layout Bubbler*

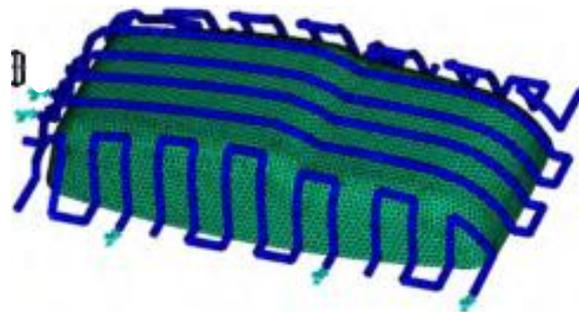
Bubbler merupakan salah satu *layout cooling* yang sering digunakan dalam pendinginan *injection molding*. *Layout* ini dapat mendinginkan produk injeksi dengan efektif dengan sistem seperti air mancur yang keluar dari pipa kecil ke pipa besar. Cara kerjanya adalah dengan menyemburkan fluida dari satu pipa kecil didalam keluar menuju pipa besar bagian luar. Namun *layout cooling* ini memiliki kekurangan yaitu biaya pembuatannya yang cukup mahal. Pada Gambar 2.14 berikut ini merupakan contoh desain dari *bubbler*.



Gambar 2.14 Layout bubbler (Autodesk, 2018)

e. *Layout Conformal*

Layout cooling conformal merupakan salah satu *layout* yang sering digunakan untuk produk yang tidak terlalu kompleks. *Layout cooling* ini dapat berbeda bentuknya tergantung bentuk produknya. *Layout conformal* terbentuk mengikuti lekukan benda yang diinjeksikan seperti Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15 Layout conformal (Hong-seok, 2012)